



LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ – L2MB

HOJA DE TÉRMINOS PROCESO DE CONTRATACIÓN DE LA L2MB Anexo 1 – Descripción del Proyecto

Bogotá D.C., 7 de octubre de 2022
Documento no vinculante

TABLA DE CONTENIDO

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	25
3.1. LOCALIZACIÓN	25
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	28
3.2.1. Infraestructura existente	29
3.2.1.1. Descripción de las vías, líneas férreas e infraestructura existente	29
3.2.1.1.1. Vías	29
3.2.1.1.2. Líneas férreas	29
3.2.1.1.3. Otra Infraestructura existente - Deprimido de la PLMB en Av. Caracas con calle 72	30
3.2.1.2. Vías que serán utilizadas por el proyecto, clasificación y estado actual	36
3.2.1.2.1. Calle 145 o Av. Transversal de Suba	37
3.2.1.2.2. Calle 146	37
3.2.1.2.3. Calle 144	38
3.2.1.3. Vías de acceso al patio-taller	39
3.2.1.3.1. Vías intervenidas en zonas de estación	40
3.2.2. Etapas y fases del proyecto	44
3.2.2.1. Actividades previas	44
3.2.2.1.1. Trámites con entidades	45
3.2.2.1.2. Topografía	45
3.2.2.1.3. Exploraciones geotécnicas	45
3.2.2.1.4. Exploraciones de pavimentos	46
3.2.2.1.5. Estudio de demanda	46
3.2.2.1.6. Debida diligencia técnica	49
3.2.2.1.7. Estudios prediales	51
3.2.2.2. Actividades de construcción	52
3.2.2.2.1. Identificación de los factores limitantes	52
3.2.2.2.2. Estrategia constructiva	53
3.2.2.2.3. Secuencia de los trabajos	55
3.2.2.3. Actividades de desmantelamiento de instalaciones temporales	57
3.2.2.4. Cierre y salvamento	58
3.2.2.5. Cronograma de ejecución del proyecto	58
3.2.3. Diseño del proyecto	60
3.2.3.1. Trazado y características geométricas del proyecto	60
3.2.3.1.1. Trazado horizontal	60
3.2.3.1.2. Alineamiento vertical	65
3.2.3.2. Derecho de vía	70
3.2.3.3. Diagrama de masas (material de relleno y excavación)	71

3.2.3.4. Área estimada de remoción de la vegetación y descapote	73
3.2.3.5. Velocidad de diseño del proyecto	74
3.2.3.6. Presentación de las secciones transversales de cada uno de los perfiles a lo largo del proyecto	74
3.2.3.6.1. Túnel	74
3.2.3.6.2. Pozo de entrada	76
3.2.3.6.3. Pozo de salida	78
3.2.3.6.4. Pozos de ventilación, evacuación y bombeo	79
3.2.3.6.5. Estaciones	82
3.2.3.6.6. Viaducto	89
3.2.3.7. Superestructura	92
3.2.3.7.1. Vías férreas principales	92
3.2.3.7.2. Vías férreas del patio-taller	92
3.2.3.7.3. Regulación de los elementos y componentes de la superestructura de línea	93
3.2.3.7.4. Factores que influyen en el dimensionamiento de la sección transversal de línea	93
3.2.3.7.5. Criterios de diseño para el dimensionamiento de la superestructura de la línea	97
3.2.3.8. Composición de la sección transversal y criterios de dimensionamiento	98
3.2.3.9. Túnel	98
3.2.3.10. Estaciones	100
3.2.3.10.1. Criterios de confort	100
3.2.3.10.2. Criterios de seguridad de los usuarios	100
3.2.3.10.3. Criterios de dimensionamiento de evacuación	101
3.2.3.10.4. Criterios de diseño estructural	103
3.2.3.10.5. Criterios de economía operacional	103
3.2.3.10.6. Criterios de circulación de los usuarios	104
3.2.3.10.7. Criterios de responsabilidad ambiental	105
3.2.3.10.8. Confort acústico	105
3.2.3.10.9. Puntos ecológicos	105
3.2.3.10.10. Infraestructura asociada a las estaciones	106
3.2.3.10.11. Selección de los materiales y acabados	106
3.2.3.10.12. Sistema de protección contra incendios	108
3.2.3.11. Infraestructura de transporte del proyecto	108
3.2.3.11.1. Puentes, canales y box culverts	108
3.2.3.11.2. Intersecciones a nivel o desnivel	117
3.2.3.11.2.1. Reordenamiento de la calle 145 con carrera 136A	118
3.2.3.11.2.2. Acceso a conjuntos residenciales	121
3.2.3.11.3. Obras urbanas	125
3.2.3.11.3.1. Puente peatonal Av. NQS con calle 72	125
3.2.3.11.3.2. Puente peatonal Av. Boyacá con calle 72	126
3.2.3.11.3.3. Pasarela peatonal Estación 1 (L2MB) - Estación 16 (PLMB)	128
3.2.3.11.3.4. Muro en geobloques calle 145	129

3.2.3.11.4. Cruces con otras obras lineales	132
3.2.3.11.4.1. Corredor Verde Carrera Séptima	132
3.2.3.11.4.2. Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)	132
3.2.3.11.4.3. Construcción del Intercambiador Vial de la Calle 72 con Av. Caracas (Deprimido calle 72)	133
3.2.3.11.4.4. Ciclo-Alameda Medio Milenio	133
3.2.3.11.4.5. Transmilenio Avenida Carrera 68	134
3.2.3.11.4.6. Transmilenio Avenida Ciudad de Cali	134
3.2.3.11.4.7. Conexión Regional Canal Salitre y Río Negro	134
3.2.3.11.4.8. Ciudadela Educativa y del Cuidado	135
3.2.3.11.5. Cruces de cuerpos de agua	135
3.2.3.11.6. Obras en zonas no urbanas o fuera del perímetro urbano	136
3.2.3.11.7. Demás tipos de infraestructura que conforman el proyecto	136
3.2.3.11.8. Infraestructura de drenaje	136
3.2.3.11.8.1. Prolongación Av. Transversal de Suba	136
3.2.3.11.8.2. Zona de transición Av. Transversal de Suba	137
3.2.3.11.8.3. Drenaje del túnel	139
3.2.3.11.8.4. Ruptura del jarillón del río Bogotá	143
3.2.3.11.9. Cruces de corrientes de aguas superficiales	146
3.2.3.11.10. Necesidades de desvíos y canalizaciones de cauces	146
3.2.3.11.11. Interceptación de aguas subterráneas	146
3.2.4. Infraestructura de geotecnia	148
3.2.4.1. Taludes previstos en cortes y terraplenes	148
3.2.4.2. Obras de geotecnia	148
3.2.4.2.1. Tramo en túnel	148
3.2.4.2.1.1. Características	149
3.2.4.2.1.2. Abscisado	149
3.2.4.2.1.3. Perfil longitudinal	150
3.2.4.2.1.4. Sección constructiva	150
3.2.4.2.1.5. Técnica constructiva	150
3.2.4.2.1.6. Subsidiencias	152
3.2.4.2.1.7. Equipos por utilizar	158
3.2.4.2.1.8. Emportalamiento	160
3.2.4.2.1.9. Pozo de entrada	161
3.2.4.2.1.10. Pozo de salida	164
3.2.4.2.1.11. Métodos de excavación	165
3.2.4.2.1.12. Manejo de aguas de infiltración, revestimiento e impermeabilización	165
3.2.4.2.1.13. Manejo de aguas industriales	165
3.2.4.2.1.14. Revestimiento e impermeabilización	166
3.2.4.2.1.15. Infraestructura de ventilación de túneles y estaciones	166
3.2.4.2.2. Tramo en viaducto	180

3.2.4.2.3. Estaciones y módulos de acceso	180
3.2.4.2.3.1. Estaciones subterráneas	180
3.2.4.2.3.2. Módulo de acceso principal tipo 1	184
3.2.4.2.3.3. Módulo de acceso satelital tipo 2	184
3.2.4.2.3.4. Módulo de acceso satelital tipo 3	185
3.2.4.2.3.5. Estación elevada	187
3.2.4.2.3.6. Infraestructura de ventilación de estaciones	190
3.2.4.3. Alimentación de energía eléctrica	196
3.2.4.4. Localización de las subestaciones eléctricas	197
3.2.4.5. Descripción de las obras de infraestructura asociadas	199
3.2.4.5.1. Características de la solución de distribución media tensión	200
3.2.4.5.2. Sistema mecánico de enclavamiento con llaves	203
3.2.4.5.3. Características de la solución de alimentación tracción y talleres	203
3.2.4.6. Fuentes alternativas de generación de energía	204
3.2.4.7. Infraestructura preexistente y su relación con las obras a ejecutar	204
3.2.4.8. Sistemas y fuentes de generación de energía para las subestaciones	204
3.2.4.9. Cálculo del campo electromagnético y su impacto en la operación	205
3.2.4.10. Protección contra descargas atmosféricas y corrientes parásitas	206
3.2.5. Infraestructura asociada al proyecto	206
3.2.5.1. Campamentos permanentes	206
3.2.5.2. Campamentos transitorios	207
3.2.5.3. Patios de prefabricados	207
3.2.5.4. Área de acopio de residuos	207
3.2.5.5. Sitios de acopio y almacenamiento de materiales	207
3.2.5.6. Sitios de acopio y almacenamiento de combustibles	209
3.2.5.7. Almacenamiento de aceites lubricantes	210
3.2.5.8. Movimientos de tierras	210
3.2.5.9. Sitios para disposición de material sobrante dentro de los campamentos	210
3.2.5.10. Fuentes de materiales y plantas de procesos	210
3.2.5.10.1. Localización de posibles fuentes de proveedores agregados pétreos.	210
3.2.5.10.2. Localización de posibles fuentes de mezclas asfálticas.	211
3.2.5.10.3. Localización de posibles fuentes proveedoras de concreto..	212
3.2.5.10.4. Localización de posibles fuentes de proveedores agregados a partir de residuos de construcción y demolición.	212
3.2.5.10.5. Localización de posibles plantas de procesos	213
3.2.6. Infraestructura y servicios interceptados	213
3.2.6.1. Redes eléctricas	214
3.2.6.2. Redes de gas	219
3.2.6.3. Redes de acueducto y alcantarillado	220
3.2.6.3.1. Redes de acueducto	220
3.2.6.3.1.1. Redes matrices	220

3.2.6.3.1.2. Redes menores	222
3.2.6.3.2. Redes de alcantarillado	225
3.2.6.4. Redes de tecnología de la información y la comunicación	229
3.2.6.5. Vías urbanas	233
3.2.6.6. Demás infraestructura y redes interceptadas	234
3.2.7. Infraestructura necesaria para el patio-taller	234
3.2.7.1. Localización	234
3.2.7.2. Descripción de las áreas del patio-taller	235
3.2.7.3. Criterios de dimensionado	237
3.2.7.4. Organización	237
3.2.7.5. Áreas de mantenimiento, almacenamiento y manejo de lubricantes y aceites	237
3.2.7.6. Layout	242
3.2.7.7. Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales	243
3.2.7.8. Sistemas de almacenamiento y distribución de combustibles	244
3.2.8. Centro de Control Operacional (CCO)	244
3.2.8.1. Características	245
3.2.8.2. Organización	245
3.2.8.3. Arquitectura típica del sistema de comando y supervisión	247
3.2.8.4. Ubicación del CCOP Y CCOR	248
3.2.9. Estaciones Metro	249
3.2.9.0.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales	249
3.2.9.0.2. Áreas para el manejo integral de residuos convencionales y peligrosos	249
3.2.9.0.3. Sistemas de almacenamiento y distribución de combustibles	249
3.2.10. Intervención de sitios, infraestructura de interés e importancia (Bienes de Interés Cultural - BICs)	250
3.2.10.1. Patrimonio cultural material	250
3.2.10.2. Bienes de interés cultural - Nacionales	251
3.2.10.3. Bienes de interés cultural - Distritales	252
3.2.10.4. Bienes culturales muebles en el espacio público	414
3.2.10.5. Patrimonio natural	257
3.2.11. Urbanismo	259
3.2.11.1. Descripción del urbanismo a implementar en el proyecto	259
3.2.11.2. Manejo de áreas remanentes	269
3.2.11.3. Mobiliario urbano	270
3.2.11.4. Espacio público	272
3.2.11.5. Diseño paisajístico	287
3.2.11.6. Ciclorutas y cicloparqueaderos	294
3.2.12. Infraestructura vial asociada al proyecto	295
3.2.12.1. Descripción de vías alternas y desvíos locales	295
3.2.12.1.1. Transporte particular	295
3.2.12.1.1.1. Estación 1	295

3.2.12.1.1.2. Estación 2	297
3.2.12.1.1.3. Estación 3	299
3.2.12.1.1.4. Estación 4	301
3.2.12.1.1.5. Estación 5	301
3.2.12.1.1.6. Estación 6	301
3.2.12.1.1.7. Estación 7	302
3.2.12.1.1.8. Estación 8	304
3.2.12.1.1.9. Estación 9	306
3.2.12.1.1.10. Estación 10	306
3.2.12.1.1.11. Estación 11	306
3.2.12.1.1.12. Ingreso de tuneladora	308
3.2.12.1.2. Transporte público	310
3.2.12.1.2.1. Estación 1	311
3.2.12.1.2.2. Estación 2	313
3.2.12.1.2.3. Estación 3	313
3.2.12.1.2.4. Estación 4	315
3.2.12.1.2.5. Estación 5	315
3.2.12.1.2.6. Estación 6	316
3.2.12.1.2.7. Estación 7	316
3.2.12.1.2.8. Estación 8	317
3.2.12.1.2.9. Estación 9	317
3.2.12.1.2.10. Estación 10	317
3.2.12.1.2.11. Estación 11	318
3.2.12.1.2.12. Ingreso de tuneladora	320
3.2.12.2. Manejo y circulación de vehículos de carga	322
3.2.12.3. Manejo de maquinaria y equipos de la obra	323
3.2.12.4. Plan de Manejo de Tráfico	323
3.2.12.4.1. Estación 1	323
3.2.12.4.2. Estación 2	330
3.2.12.4.3. Estación 3	333
3.2.12.4.4. Estación 4	336
3.2.12.4.5. Estación 5	339
3.2.12.4.6. Estación 6	340
3.2.12.4.7. Estación 7	343
3.2.12.4.8. Estación 8	348
3.2.12.4.9. Estación 9	350
3.2.12.4.10. Estación 10	351
3.2.12.4.11. Estación 11	352
3.2.12.4.12. Ingreso de la tuneladora	354
3.2.13. Material rodante, equipos y sistema metro ferroviarios	355

3.2.14. Proceso constructivo del proyecto	363
3.2.14.1. Túnel	363
3.2.14.2. Pozos de entrada y salida de la tuneladora	372
3.2.14.2.1. Pozo de entrada	372
3.2.14.2.2. Pozo de salida	376
3.2.14.2.3. Proceso constructivo	376
3.2.14.3. Estaciones subterráneas	381
3.2.14.3.1. Tratamientos especiales	384
3.2.14.3.2. Instrumentación	386
3.2.14.4. Viaducto	387
3.2.14.4.1. Procedimientos constructivos de la subestructura	387
3.2.14.4.1.1. Pilas tipo	388
3.2.14.4.1.2. Columnas	388
3.2.14.4.1.3. Capitel	389
3.2.14.4.2. Procedimientos constructivos de la superestructura	392
3.2.14.4.2.1. Viaducto estándar	392
3.2.14.4.2.2. Viaductos especiales.	405
3.2.14.5. Vías férreas	411
3.2.14.5.1. Vías férreas principales	411
3.2.14.5.2. Vías férreas del patio-taller	413
3.2.15. Listado de maquinaria a utilizar por el proyecto	414
3.2.16. Localización de las estaciones, patios y talleres	415
3.2.17. Movimientos de tierras	415
3.2.17.1. Volúmenes de material de excavación	415
3.2.17.2. Volúmenes para terraplenes	415
3.2.17.3. Áreas de relleno y de préstamo	416
3.2.17.4. Balance de masas	416
3.2.17.5. Volúmenes de suelo orgánico requerido a remover	416
3.2.18. Estimativo de mano de obra durante la construcción y operación	416
3.2.19. Requerimiento de demolición de viviendas u obras de infraestructura	416
3.2.20. Tipo y volúmenes de materiales requeridos en la construcción	418
3.2.20.1. Equipos y maquinaria a utilizar en el proceso constructivo	418
3.2.20.2. Estructuras de control	418
3.2.21. Programa de desvíos de tránsito vehicular y peatonal con rutas y horarios definidos	420
3.2.22. Manejo de volúmenes de material de construcción	420
3.2.22.1. Materiales de construcción	420
3.2.22.2. Balance de masas de los materiales de excavación y relleno	420
3.2.22.3. Cantidad de material a reutilizar en el proyecto	420
3.2.23. Manejo y disposición de materiales sobrantes de excavación y de construcción y demolición	421
3.2.23.1. Relación de los volúmenes estimados de material a disponer	421

3.2.23.2. Localización de los sitios potenciales para la ubicación de sitios de disposición final de material sobrante o residuos de construcción y demolición (RCD) del proyecto	421
3.2.23.3. Estimación de los volúmenes de RCD (demoliciones y excavaciones)	430
3.2.24. Residuos peligrosos y no peligrosos	430
3.2.24.1. Clasificación de los residuos sólidos	430
3.2.24.1.1. Residuos sólidos convencionales	430
3.2.24.1.2. Residuos sólidos peligrosos	433
3.2.24.2. Estimación de los volúmenes de residuos peligrosos y no peligrosos	445
3.2.25. Aspectos de diseño para la mitigación e impactos ambientales y sociales	446

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto

Figura 2. Esquema del trazado y localización de las estaciones de la L2MB

Figura 3. Trazado y estaciones de la L2MB

Figura 4. Sección típica vial calle 72 – Occidente Av. Caracas

Figura 5. Sección típica vial calle 72 – Oriente de Av. Caracas

Figura 6. Sección típica vial Av. Caracas

Figura 7. Planta deprimido calle 72 con Av. Caracas

Figura 8. Sección transversal del deprimido de la calle 72 al occidente de la Av. Caracas

Figura 9. Cronograma general de construcción de las obras de la L2MB

Figura 10. Ruta crítica cronograma de construcción

Figura 11. Trazado horizontal Estación E1

Figura 12. Trazado horizontal Estaciones E1 y E2

Figura 13. Trazado horizontal Estaciones E2 y E3

Figura 14. Trazado horizontal Estaciones E3 y E4

Figura 15. Trazado horizontal Estaciones E4 y E5

Figura 16. Trazado horizontal Estaciones E5 y E6

Figura 17. Trazado horizontal Estaciones E6 y E7

Figura 18. Trazado horizontal Estaciones E7 y E8

Figura 19. Trazado horizontal Estaciones E8 y E9

Figura 20. Trazado horizontal Estaciones E9 y E10

Figura 21. Trazado horizontal Estaciones E10 y E11

Figura 22. Perfil longitudinal Estación E1

Figura 23. Perfil longitudinal Estaciones E1 y E2

Figura 24. Perfil longitudinal Estaciones E2 y E3

Figura 25. Perfil longitudinal Estaciones E3 y E4

Figura 26. Perfil longitudinal Estaciones E4 y E5

Figura 27. Perfil longitudinal Estaciones E5 y E6

Figura 28. Perfil longitudinal Estaciones E6 y E7

Figura 29. Perfil longitudinal Estaciones E7 y E8

Figura 30. Perfil longitudinal Estaciones E8 y E9

Figura 31. Perfil longitudinal Estaciones E9 y E10

Figura 32. Perfil longitudinal Estaciones E10 y E11

Figura 33. Perfil longitudinal Estación E11 y cola de maniobras

Figura 34. Sección constructiva del túnel con radio de curvatura de 400 m

Figura 35. Planta de localización del pozo de entrada

Figura 36. Sección transversal del pozo de entrada (a la izquierda, costado norte)

Figura 37. Planta de localización del pozo de salida

Figura 38. Sección transversal del pozo de salida (a la izquierda se localiza el costado sur)

Figura 39. Sección transversal típica de los pozo de evacuación, ventilación y bombeo

Figura 40. Vista longitudinal de la galería de conexión entre el pozo y el túnel

Figura 41. Vista isométrica de un pozo típico de ventilación, evacuación y bombeo

Figura 42. Implantación en superficie del Pozo 5 de ventilación, evacuación y bombeo (ejemplo)

Figura 43. Sección transversal Estación 1

Figura 44. Sección transversal Estaciones E2 a E10

Figura 45. Estación E1. Vista 1

Figura 46. Estación E1. Vista 2

Figura 47. Estación E1. Vista 3

Figura 48. Estación E1. Vista 4



Figura 49. Estación E11. Vista 1

Figura 50. Estación E11. Vista 2

Figura 51. Estación E11. Vista 3

Figura 52. Estación E11. Vista 4

Figura 53. Planta del tramo en viaducto

Figura 54. Planta y sección longitudinal del viaducto, tramo típico

Figura 55. Secciones transversal y longitudinal del viaducto

Figura 56. Vista 3D pila y dovela del viaducto

Figura 57. Geometría de bitubo e implantación

Figura 58. Geometría monotubo e implantación

Figura 59. Esquema de localización obras 1 y 2

Figura 60. Esquema de localización obra 3

Figura 61. Esquema de localización obra 4

Figura 62. Esquema de localización obra 5

Figura 63. Esquema de localización obra 6 y 7

Figura 64. Esquema de localización obra 8 y 9

Figura 65. Esquema de localización obra 10

Figura 66. Esquema de localización obra 11

Figura 67. Trazado proyectado L2MB sobre la calle 145 - Estación 11

Figura 68. Zona de transición entre viaducto y túnel subterráneo de la L2MB sobre la calle 145 con carrera 136A

Figura 69. Desvío al norte y al sur por la carrera 128.

Figura 70. Desvío al sur por el retorno de la calle 145

Figura 71. Accesos al Conjunto Albear de Suba

Figura 72. Accesos al Conjunto Plazuela San Martín III

Figura 73. Accesos al Conjunto Plazuela San Martín IV

Figura 74. Accesos a Conjunto Plazuela San Martín V

Figura 75. Implantación puente peatonal Av. NQS con calle 72

Figura 76. Vista en planta y perfil del puente peatonal sobre la Av.NQS



Figura 77. Implantación puente peatonal Av. Boyacá con Calle 72

Figura 78. Planta y perfil longitudinal de la pasarela metálica sobre la Av. Boyacá

Figura 79. Pasarela peatonal conexión PLMB con L2MB - Vista longitudinal.

Figura 80. Modelo 3D de la pasarela metálica de conexión de las estaciones 1 (L2MB) y 16 (PLMB)

Figura 81. Planta diseño geométrico extensión calle 145

Figura 82. Planta diseño de la transición

Figura 83. Sección transversal calzada sur

Figura 84. Sección transversal calzada norte

Figura 85. Vista del sector del pozo de ingreso de la tuneladora en la calle 145

Figura 86. Esquema de obra plataforma de aproximación con geobloques

Figura 87. Esquema general drenaje vial prolongación Av. Transversal de Suba

Figura 88. Drenaje transición en zona de andén

Figura 89. Elemento de drenaje tipo rejilla monolítica drenaje andén

Figura 90. Planta drenaje túnel L2MB

Figura 91. Alzada pozo de ventilación, evacuación y bombeo

Figura 92. Esquema de conexión del pozo de drenaje a red urbana (Ejemplo)

Figura 93. Esquema zona de inundación por rompimiento del jarillón del río Bogotá

Figura 94. Esquema zona de transición y Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11

Figura 95. Planta Pozo No. 11

Figura 96. Perfil longitudinal Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11

Figura 97. Granulometría de los terrenos y aplicación a los escudos EPB (Tobergte & Curtis, 2013)

Figura 98. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand

Figura 99. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Brazo Humedal Juan Amarillo

Figura 100. Umbrales de daño según Boscardin and Cording (1989),

Figura 101. Principio de funcionamiento de EPB Shield

Figura 102. Rangos de aplicación de la EPB y condicionantes del terreno

Figura 103. Vista en planta - Pozo de Entrada

Figura 104. Vista isométrica - Pozo de Entrada



Figura 105. Pozo de Entrada - Vista en perfil

Figura 106. Pozo de Entrada - Planta de cimentación

Figura 107. Pozo de Entrada - Secciones transversales

Figura 108. Fenómeno de “backlayering” - Ventilación longitudinal insuficiente

Figura 109. Humo controlado - Ventilación longitudinal eficaz

Figura 110. Estrategia de ventilación en las secciones de ventilación entre E01 y P11

Figura 111. Esquema de sistema de presurización

Figura 112. Planta en superficie estación E1.

Figura 113. Sección transversal de la estación E1

Figura 114. Sección transversal módulo de acceso estación E1

Figura 115. Planta típica estaciones E2 a E10

Figura 116. Sección transversal típica de las estaciones E2 a E10

Figura 117. Módulo de acceso tipo 1 en Estación E5

Figura 118. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación E4 (Av. Boyacá)

Figura 119. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación E3 (Av. 68)

Figura 120. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones construidas con pantallas

Figura 121. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones mediante túneles independientes construidos con sistema Liner

Figura 122. Perfil longitudinal del viaducto elevado en la zona de la Estación E11

Figura 123. Planta baja plataforma y planta vestíbulo estación elevada E11

Figura 124. Sección transversal estación elevada E11

Figura 125. Fachada estación elevada E11

Figura 126. Esquema de distribución de aire dentro de recintos

Figura 127. Esquema de distribución de aire en áreas públicas

Figura 128. Filosofía de operación incendio en plataformas

Figura 129. Ubicación cuartos de pánico para discapacitados

Figura 130. Filosofía de operación incendio en mezzanine -3

Figura 131. Filosofía de operación incendio en mezzanine -1

Figura 132. 1500 V con catenaria rígida en túnel



Figura 133. Componentes y unilineal de SER GIS no redundante

Figura 134. Solución GIS de SER redundante

Figura 135. Unilineal de SER redundante

Figura 136. Configuración base de 2 anillos de MT

Figura 137. Interruptores y barras principales de CT anillo 1 y 2

Figura 138. Interruptores y barras principales de CT anillo 1 y 2

Figura 139. Áreas de logística frente de ataque pozo de entrada.

Figura 140. Facilidades logísticas Línea 2 Metro Lima, Perú, actualmente en construcción

Figura 141. Interferencias en redes eléctricas en la Estación E3

Figura 142. Propuesta de solución para las interferencias en redes eléctricas de la Estación E3

Figura 143. Interferencias de Acueducto en Estación 5

Figura 144. Traslado redes de alcantarillado Estación 5 Calle 72A y Carrera 81A - Red Residual.

Figura 145. Traslado redes de alcantarillado Estación 5 Calle 72A y Carrera 80C - Red Residual

Figura 146. Ubicación del área destinada para el patio-taller en predio Fontanar del Rio

Figura 147. Planta de obras geotécnicas patio-taller

Figura 148. Sección transversal A-A costado jarillón

Figura 149. Sección transversal A-A al costado de conjuntos residenciales.

Figura 150. Layout del patio-taller

Figura 151. Organización en el CCO

Figura 152. CCO del Metro de Sidney

Figura 153. CCO del Metro de Dubai

Figura 154. Arquitectura típica del SCS

Figura 155. Ubicación del CCOP en al nivel Mezzanine - 2 en la estación 5

Figura 156. Ubicación del data center al nivel Mezzanine - 3

Figura 157. Sector de Interés Cultural - SIC. Chapinero

Figura 158. Monumento José Enrique Rodó

Figura 159. Humedal Juan Amarillo

Figura 160. Humedal Santa Maria del Lago



Figura 161. Aspectos generales considerados en la intervención del Urbanismo de las Estaciones de la L2MB.

Figura 162. Plaza de Mercado 12 de Octubre - Cesión Control Ambiental sobre Calle 72

Figura 163. Implantación Urbana Estación 2 L2MB

Figura 164. Intermodalidad Estación E2

Figura 165. Criterios de intervención para las zonas bajo viaducto

Figura 166. Actividades bajo viaducto parte 1

Figura 167. Actividades bajo viaducto parte 2

Figura 168. Localización general de pozos.

Figura 169. Planteamiento relación entorno inmediato pozos

Figura 170. Tránsitos interiores del proyecto y consideraciones

Figura 171. Items de mobiliario urbano Propuesta Conceptual

Figura 172. Ejemplo de Intervención de mejoramiento en sección transversal

Figura 173. Ejemplo de Reconfiguración de tipo de calle en sección transversal

Figura 174. Criterios de diseño Franja de Circulación Peatonal

Figura 175. Criterios de diseño Franja de Ciclorruta

Figura 176. Criterios de diseño Franja de Paisajismo

Figura 177. Tipologías de esquinas con vados 1 (TEV1)

Figura 178. Tipologías de esquinas con vados 2 (TEV2)

Figura 179. Tipologías de esquinas con vados 3 (TEV3)

Figura 180. Cruce transversal peatonal semaforizado con refugio sobre separador central (CTPR)

Figura 181. Manejo de esquinas con cruce pompeyano

Figura 182. Pasos peatonales semaforizados Estación 9

Figura 183. Pasos peatonales semaforizados Estación 10

Figura 184. Pasos peatonales semaforizados Estación 11

Figura 185. Pasos pompeyanos

Figura 186. Disposición de los pompeyanos

Figura 187. Refugio peatonal

Figura 188. Tipología de acceso vehicular TAVP1



Figura 189. Tipología de acceso vehicular TAVP2

Figura 190. Ejemplo de afectación parcial de antejardín

Figura 191. Ejemplo de afectación total de antejardín

Figura 192. Perfil de andén con ancho mayor a 5 m - Franjas de paisajismo y resiliencia.

Figura 193. Propuesta de paisajismo y luminarias - Sección

Figura 194. Propuesta de paisajismo y luminarias - Planta

Figura 195. Propuesta Paisajismo y Rampas vehiculares de acceso a predios - Planta

Figura 196. Número de biciparqueaderos en estaciones

Figura 197. Desvíos en Estación 1 - Etapa 2.

Figura 198. Desvíos en Estación 1 - Etapa 3.

Figura 199. Desvíos en Estación 2 - Etapa 2.

Figura 200. Desvíos en Estación 3 - Etapa 2.

Figura 201. Desvíos en Estación 6 - Etapa 2.

Figura 202. Desvíos en Estación 7 - Etapa 2.

Figura 203. Desvíos en Estación 8 - Etapa 2.

Figura 204. Desvíos en Estación 11 - Etapa 2.

Figura 205. Desvíos en Estación 11 - Etapa 3.

Figura 206. Vías alternas Ingreso de Tuneladora - Etapa 1.

Figura 207. Desvíos Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Figura 208. Desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 2.

Figura 209. Desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 3.

Figura 210. Desvíos para Transporte Público - Estación 3 - Etapa 2.

Figura 211. Desvíos para Transporte Público - Estación 7 - Etapa 2 y 3.

Figura 212. Desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.

Figura 213. Desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.

Figura 214. Desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Figura 215. Desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Figura 216. Vías Principales para la circulación de vehículos de carga.

Figura 217. Cierres de obra en Estación 1 - Etapa 1.

Figura 218. Adecuación geométrica sobre la AC 72 en Estación 1 - Etapa 1.

Figura 219. Adecuación geométrica sobre la KR 20B en Estación 1 - Etapa 1.

Figura 220. Cierres de obra en Estación 1 - Etapa 2.

Figura 221. Adecuaciones Geométricas en Estación 1 - Etapa 2.

Figura 222. Cierres de obra en Estación 1 - Etapa 3.

Figura 223. Adecuaciones Geométricas en Estación 1 - Etapa 3.

Figura 224. Cierres de obra en Estación 2 - Etapa 1.

Figura 225. Cierres de obra en Estación 2 - Etapa 2.

Figura 226. Adecuaciones Geométricas en Estación 2 - Etapa 2.

Figura 227. Cierres de obra en Estación 3 - Etapa 1.

Figura 228. Adecuaciones Geométricas en Estación 3 - Etapa 2.

Figura 229. Adecuaciones Geométricas en Estación 3 - Etapa 3.

Figura 230. Cierres de obra en Estación 4 - Etapa 1.

Figura 231. Adecuaciones Geométricas en Estación 4 - Etapa 3.

Figura 232. Cierres de obra en Estación 5 - Etapa 1.

Figura 233. Cierres de obra en Estación 6 - Etapa 1.

Figura 234. Adecuaciones Geométricas en Estación 6 - Etapa 1.

Figura 235. Cierres en Estación 6 - Etapa 2.

Figura 236. Cierres de obra en Estación 7 - Etapa 1.

Figura 237. Adecuaciones Geométricas en Estación 7 - Etapa 1.

Figura 238. Adecuaciones Geométricas en Estación 7 - Etapa 1.

Figura 239. Cierres de obra en Estación 7 - Etapa 2.

Figura 240. Adecuaciones Geométricas en Estación 7 - Etapa 2.

Figura 241. Adecuaciones Geométricas en Estación 3 - Etapa 3.

Figura 242. Cierres de obra en Estación 8 - Etapa 1.

Figura 243. Cierres de obra en Estación 8 - Etapa 2.

Figura 244. Cierres de obra en Estación 9 - Etapa 1.



Figura 245. Cierres de obra en Estación 10 - Etapa 1.

Figura 246. Cierres de obra en Estación 11 - Etapa 1.

Figura 247. Cierres de obra en Estación 11 - Etapa 2.

Figura 248. Cierres de obra en Estación 11 - Etapa 3.

Figura 249. Cierres de obra para el Ingreso de Tuneladora - Etapa 1.

Figura 250. Cierres de obra para el Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Figura 251. Arreglo de asientos

Figura 252. Fijación de un asiento

Figura 253. Perfil de la máquina en sección del escudo, cabina de control, sistema de dovelas

Figura 254. Esquema de equilibrio de presión de tierras y sistema de extracción.

Figura 255. Sistema de inyección en el frente.

Figura 256. Sistema de inyección de lechada detrás de la cola del escudo en la zona de gap o espacio anular.

Figura 257. Sistema de sello e inyección del gap anular.

Figura 258. Sistemas de sello de las dovelas.

Figura 259. Configuración del anillo con segmentos trapezoidales.

Figura 260. Revestimiento del túnel con anillo de dovelas de concreto reforzado.

Figura 261. Sistema de sujeción de las dovelas mediante pernos de acero.

Figura 262. Estructura para el soporte del escudo durante su ensamble en el pozo de entrada

Figura 263. Estructura de reacción para el lanzamiento de la máquina tuneladora hacia el terreno

Figura 264. Inicio de excavación de la tuneladora y colocación de anillos de dovelas prefabricadas.

Figura 265. Planta. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas

Figura 266. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas

Figura 267. Secuencia de excavación en procedimiento constructivo de pozos

Figura 268. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (planta)

Figura 269. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (cortes)

Figura 270. Excavación de pantalla preexcavadas (Cut & Cover. Método invertido)

Figura 271. Barreras longitudinales de micropilotes

Figura 272. Muro a las entradas y salida de las estaciones (perfil y sección)



- Figura 273. Estación de instrumentación típica en estaciones subterráneas
- Figura 274. Construcción de fustes de pila para viaducto de metro
- Figura 275. Construcción de capitel colado in situ sobre cimbra apoyada en el suelo
- Figura 276. Capitel colado in situ sobre cimbra soportada por brackets (metro de Ho Chi Minh)
- Figura 277. Instalación de capitel prefabricado sobre anillo de posicionamiento
- Figura 278. Croquis mostrando procedimiento de ejecución de pórtico
- Figura 279. Montaje del tablero gran U del metro de Ho Chi Minh mediante viga lanzadora
- Figura 280. Croquis mostrando banco corto
- Figura 281. Banco corto y molde para dovela de pila
- Figura 282. Croquis mostrando banco largo
- Figura 283. Célula de prefabricación de dovela estándar
- Figura 284. Áreas de acopio de dovelas en parques de prefabricación
- Figura 285. Vista aérea de parque de prefabricación para L4 de Metro de Santiago de Chile
- Figura 286. Transporte de dovelas mediante remolques de cama baja
- Figura 287. Suministro de dovelas hasta frente de obras mediante camiones
- Figura 288. Acopio de dovelas bajo viaducto
- Figura 289. Izado de las dovelas
- Figura 290. Aplicación del adhesivo epóxico y tensado de barras temporales
- Figura 291. Tensado de los cables de presfuerzo
- Figura 292. Descenso del vano sobre pilas
- Figura 293. Avance de la viga lanzadora, Fase 1: avance de la viga superior sobre la viga inferior (1)
- Figura 294. Avance de la viga lanzadora, Fase 2: avance de la viga superior sobre la viga inferior (2)
- Figura 295. Fase 3: avance de la viga inferior. Viga lanzadora lista para nuevo vano
- Figura 296. Izado de dovelas mediante viga lanzadora
- Figura 297. Ensamblaje temporal de dovelas mediante barras de pre esforzado y aplicación de adhesivo epóxico
- Figura 298. Carro de apoyo de la viga lanzadora y sistema de avance sobre tablero
- Figura 299. Avance de la viga lanzadora a vano siguiente
- Figura 300. Configuración tipo para módulo continuo de dos vanos

Figura 301. Construcción del vano 1 mediante viga lanzadora

Figura 302. Avance de la viga lanzadora a vano 2

Figura 303. Construcción del vano 2 mediante viga lanzadora

Figura 304. Avance de la viga lanzadora y colado del diafragma sobre pila central

Figura 305. Tensado de cables de continuidad sobre pila central

Figura 306. Construcción del vano mediante grúas apoyado en el suelo

Figura 307. Construcción del vano mediante grúas apoyado en la estructura

Figura 308. Construcción del vano mediante viga de lanzamiento

Figura 309. Secuencia constructiva tipo para puente por voladizos sucesivos mediante carro de avance

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de la L2MB

Tabla 2. Vías afectadas por el proyecto en zona del patio-taller

Tabla 3. Vías afectadas por el proyecto en zonas de estación

Tabla 4. Exploraciones geotécnicas por fase

Tabla 5. Exploraciones de pavimentos

Tabla 6. Excavaciones para la construcción de estaciones

Tabla 7. Excavaciones para la construcción del túnel

Tabla 8. Excavaciones y rellenos para la construcción de vías

Tabla 9. Resumen del movimiento de tierras previsto para el proyecto

Tabla 10. Resumen del área de remoción de vegetación y descapote prevista para el proyecto

Tabla 11. Criterios de confort

Tabla 12. Criterios de seguridad de los usuarios

Tabla 13. Criterios dimensionamiento de evacuación

Tabla 14. Criterios de diseño estructural

Tabla 15. Criterios de economía operacional

Tabla 16. Criterio de circulación de usuarios

Tabla 17. Criterios responsabilidad ambiental

Tabla 18. Confort acústico

Tabla 19. Puntos ecológicos

Tabla 20. Infraestructura asociada a las estaciones

Tabla 21. Selección de materiales y acabados

Tabla 22. Sistema de protección contra incendios

Tabla 23. Estructuras inspeccionadas en la visita de campo

Tabla 24. Recopilación de información

Tabla 25. Acciones requeridas en estructuras existentes

Tabla 26. Abscisas de puntos bajos interestación y longitudes aferentes a pozos de drenaje

Tabla 27. Caudal infiltrado y diferencia geométrica en pozos de drenaje L2MB

Tabla 28. Diferencia altimétrica en Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11, y longitud de conexión urbana

Tabla 29. Abscisado del proyecto

Tabla 30. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

Tabla 31. Asentamientos máximos esperados en cruces críticos

Tabla 32. Clasificación de los daños producidos en los edificios, adaptado de Burland (1977)

Tabla 33. Predios con posible afectación según la metodología de Boscardin and Cording (1989)

Tabla 34. Pozo de Entrada - Dimensiones de elementos estructurales

Tabla 35. Análisis para la definición de los pozos de ventilación intermedios.

Tabla 36. Criterios de confort y tenabilidad.

Tabla 37. Nivel de ruido

Tabla 38. Temperatura a lo largo del túnel durante funcionamiento normal.

Tabla 39. Listado de escenarios y resultados de velocidad crítica .

Tabla 40. Resultados de caudal y presión de los ventiladores para cada escenario

Tabla 41. Parámetros de diseño sistema de presurización.

Tabla 42. Características de las estaciones subterráneas

Tabla 43. Condiciones ambientales de diseño.

Tabla 44. Condiciones internas de diseños locales

Tabla 45. Modos de operación

Tabla 46. Centros de transformación en MT

Tabla 47. Lista de proveedores IDU - Agregados Pétreos

Tabla 48. Lista de proveedores de mezclas asfálticas

Tabla 49. Lista de proveedores de concreto hidráulico

Tabla 50. Lista de proveedores de RCD

Tabla 51. Tabla de instalaciones de mantenimiento

Tabla 52. Bienes de Interés Cultural del ámbito Nacional

Tabla 53. Bienes de Interés Cultural del ámbito Distrital Área de Influencia Urbana

Tabla 54. BIC Distritales inmediatos al Límite de Diseño E1

Tabla 55. Monumentos dentro el Área de Influencia Urbana de la L2MB

Tabla 56. Perfiles viales - Tipo de calles (Dimensiones)

Tabla 57. Arbolado urbano propuesto

Tabla 58. Total arbolado urbano propuesto L2MB

Tabla 59. Descripción de desvíos - Estación 1 - Etapa 2.

Tabla 60. Descripción de desvíos - Estación 1 - Etapa 3.

Tabla 61. Descripción de desvíos - Estación 2 - Etapa 2.

Tabla 62. Descripción de desvíos - Estación 3 - Etapa 2.

Tabla 63. Descripción de desvíos - Estación 6 - Etapa 2.

Tabla 64. Descripción de desvíos - Estación 7 - Etapa 2.

Tabla 65. Descripción de desvíos - Estación 8 - Etapa 2.

Tabla 66. Descripción de desvíos - Estación 11 - Etapa 2.

Tabla 67. Descripción de desvíos - Estación 11 - Etapa 3.

Tabla 68. Descripción de vías alternas - Ingreso Tuneladora - Etapa 1.

Tabla 69. Descripción de desvíos - Ingreso Tuneladora - Etapa 2.

Tabla 70. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 2.

Tabla 71. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 3.

Tabla 72. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 3 - Etapa 2.

Tabla 73. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 7 - Etapa 2 y 3.

Tabla 74. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.

Tabla 75. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.

Tabla 76. Descripción de desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Tabla 77. Descripción de desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Tabla 78. Características técnicas del material rodante

Tabla 79. Configuración de 7 coches en carga normal de 6 pasajeros de pie / m²

Tabla 80. Requisitos de confort acústico

Tabla 81. Localización de principales obras existentes con respecto a las pantallas de las estaciones

Tabla 82. Listado de maquinaria a utilizar por el proyecto

Tabla 83. Cantidad de viviendas que requieren demolición

Tabla 84. Análisis de condiciones y elementos de protección para eventos de inundación

Tabla 85. Materiales de construcción

Tabla 86. Sitios Autorizados para la Disposición Final de RCD

Tabla 87. Volúmenes de RCD (demoliciones y excavaciones)

Tabla 88. Clasificación de los Residuos.

Tabla 89. Objetivos para el manejo interno y externo de residuos peligrosos (Prevención y minimización)

Tabla 90. Objetivos para el manejo interno y externo de residuos peligrosos (Manejo externo ambientalmente seguro)

Tabla 91. Programa de Capacitación

Tabla 92. Empresas autorizadas por la Secretaría Distrital de Ambiente para el manejo de RESPEL.

Tabla 93. Estimación de Generación de residuos domiciliarios Kg/mes.

Tabla 94. Estimación de residuos peligrosos.

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Línea férrea perteneciente al Ferrocarril del Norte cruzada perpendicularmente por el túnel del proyecto a la altura de la calle 72 con Av. NQS

Fotografía 2. Situación actual de la calle 145 o Av. Transversal de Suba entre carreras 136A y 148

Fotografía 3. Situación actual calle 146 en cercanías del patio-taller

Fotografía 4. Situación actual calle 144



Fotografía 5. Situación actual transversal 141A Bis

Fotografía 6. Situación actual diagonal 151

Fotografía 7. Tipo de equipos e instalaciones requeridos para la planta de dovelas (planta de dovelas línea 2 metro Sao Paulo actualmente en construcción)

Fotografía 8. Cajas de inspección de redes subterráneas de energía MT 11,4 kV - BT 208/120 V - Canalizaciones

Fotografía 9. Redes aéreas de media tensión 11,4 kV (Transformador - Equipo de maniobra - Reconector)

Fotografía 10. Redes aéreas de baja tensión 208/120V (Distribución - Alumbrado público)

Fotografía 11. Red aérea de alta tensión - 115 kV - Av. 68

Fotografía 12. Red aérea de alta tensión - 115 kV - Av. Rojas

Fotografía 13. Red aérea de alta tensión - 115 kV - Cra 103

Fotografía 14. Redes de ETB sobre la Calle 72.

Fotografía 15. Redes de ETB sobre la Calle 72

Fotografía 16. Redes de MOVISTAR sobre la Calle 72

Fotografía 17. Redes de MOVISTAR en la estación Av, Boyacá.

Fotografía 18. Redes de Tigo-Une sobre la estación Av. C. Cali.

Fotografía 19. Redes de Tigo-Une sobre la estación Av. Boyacá.

Fotografía 20. Sistema de apoyo de la máquina EPB sobre las dovelas con ruedas

Fotografía 21. Rampa o conformación de relleno en concreto o solera para el material rodante

Fotografía 22. Sitio típico de acopio de dovelas prefabricadas

Fotografía 23. Vehículo típico para transporte de dovelas

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. LOCALIZACIÓN

La Línea 2 del Metro de Bogotá (L2MB) se desarrollará en la ciudad de Bogotá, en las localidades de Chapinero, Barrios Unidos, Engativá y Suba (Figura 1).

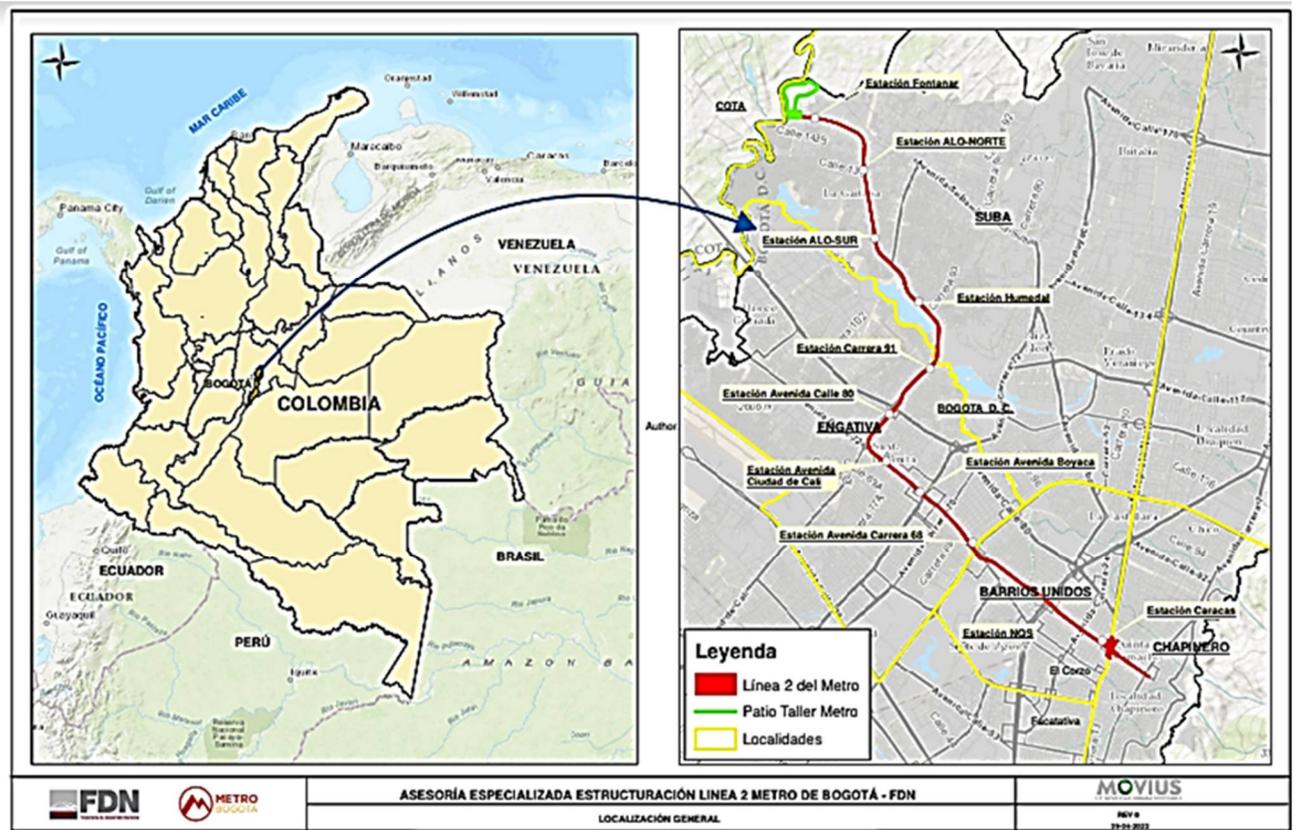


Figura 1. Localización del proyecto
Fuente: UT MOVIUS 2022

La L2MB se ha considerado como una línea de metro pesado con un trazado **predominantemente subterráneo** cuyo recorrido empieza en el nororiente de la ciudad (calle 72 con Av. Caracas, lugar donde se integrará a la estación 16 de la PLMB), y termina en la zona noroccidental (Fontanar del Río), junto al río Bogotá, donde operará el patio-taller. Tendrá 15,5 km de longitud y dispondrá de 11 estaciones (Figura 2).

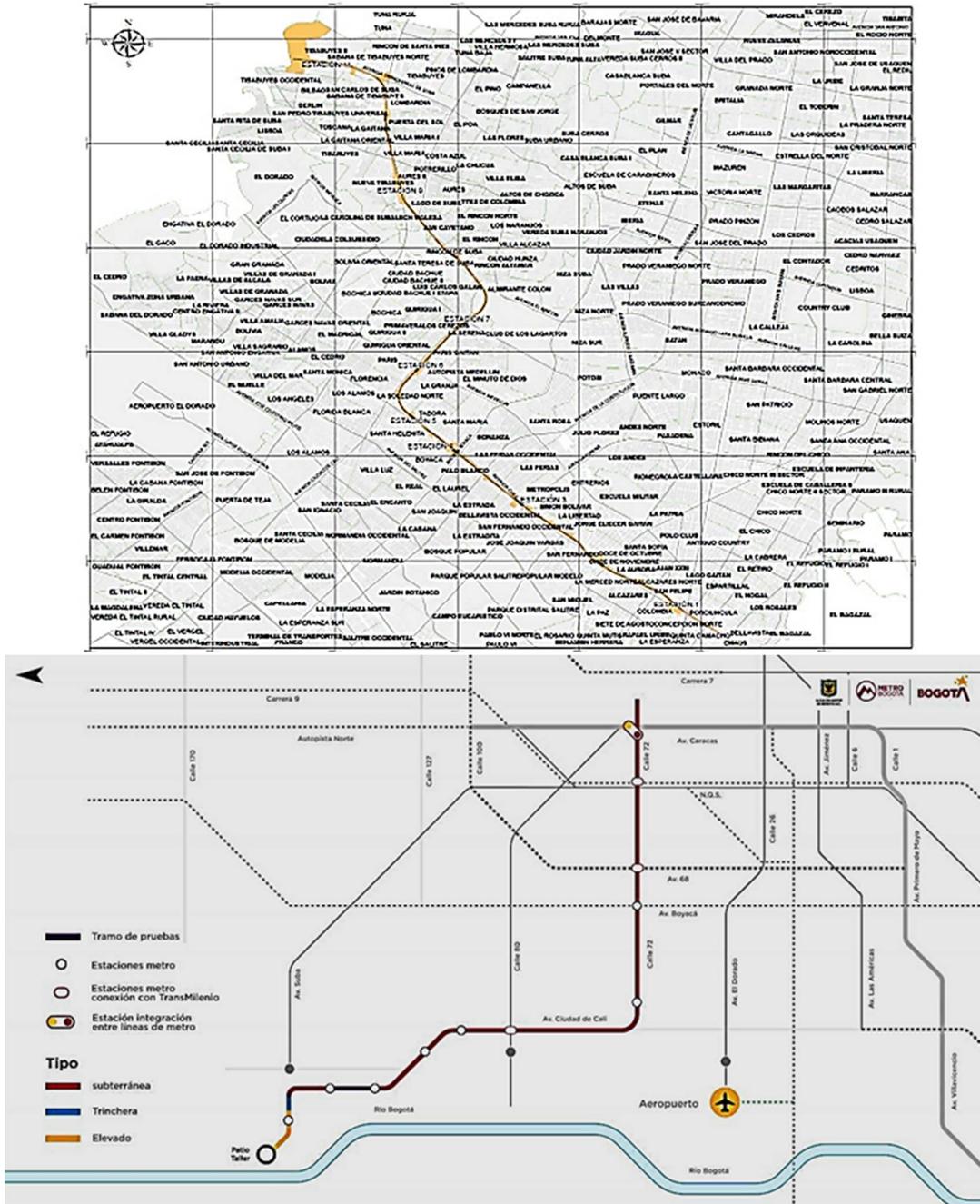


Figura 2. Esquema del trazado y localización de las estaciones de la L2MB
Fuente: EMB

La L2MB inicia en el eje de la calle 72 en aproximaciones de la carrera 9 en dirección al occidente.

Posterior al paso bajo la futura intersección a desnivel de la calle 72 con Av. Caracas (en construcción por parte de la PLMB), el túnel discurre a lo largo de la calle 72 hasta la Av. Ciudad de Cali, donde realiza un giro de aproximadamente 90 grados hacia el norte y avanza por el costado oriental de la Av. Ciudad de Cali hasta el campo de golf del Club Los Lagartos, en cercanías de la diagonal 91 con la Av. Carrera 86 (Av. Ciudad de Cali). En ese punto gira hacia al noroccidente con una curva amplia y encuentra nuevamente la Av. Ciudad de Cali.

Luego el trazado del túnel comienza a separarse de dicha avenida y se enruta bajo el barrio Corinto de Suba hasta la reserva de la ALO. Allí continúa hacia el norte por el centro de la misma hasta la altura de la calle 144, donde realiza una curva amplia hacia el occidente e ingresa a la calle 145 o Av. Transversal de Suba.

En la calle 145 el túnel emerge a superficie y luego de una transición corta en trinchera, la línea pasa a ser elevada. Después de la estación 11 (Fontanar), ubicada entre las carreras 145 y 141b, se ubican la cola de maniobras del extremo occidental del trazado y las rampas de acceso al patio-taller.

La L2MB tiene 11 estaciones, de las cuales 10 son subterráneas y una elevada. La configuración de las mismas y su integración con otros medios de transporte existentes y futuros, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones de la L2MB

No.	Estación	Tipo	Integración	
E1	Calle 72	Subterránea	PLMB	Troncal Transmilenio Avenida Caracas
E2	Av. NQS	Subterránea	Troncal Transmilenio NQS y futuro proyecto Regiotram del Norte	
E3	Av. 68	Subterránea	Troncal Transmilenio Carrera 68	
E4	Av. Boyacá	Subterránea	Futura Troncal Transmilenio	
E5	Av. Cali	Subterránea		
E6	Calle 80	Subterránea	Troncal Transmilenio Calle 80 y futura Troncal Avenida Ciudad de Cali	
E7	Carrera 91	Subterránea		
E8	Humedal	Subterránea		
E9	ALO Sur	Subterránea		
E10	ALO Norte	Subterránea		
E11	Fontanar	Elevada		

Fuente: FDN y UT MOVIOUS

La localización del proyecto se presenta en el plano No. _L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0001_V01-1. Dicho plano está georreferenciado en coordenadas planas (magna sirgas origen Bogotá D.C.) y fue elaborado a escala 1:10.000. Permite la adecuada lectura de la información y cumple con los estándares de cartografía base del IGAC e IDECA, así como con los catálogos de objetos.

El mapa de localización al cual se hace referencia incluye, entre otros, la delimitación del área prevista a intervenir con el desarrollo del proyecto, así como sus obras e instalaciones temporales y los aspectos de información básica relacionados con: i) Curvas de nivel, ii) Hidrografía y iii) Accidentes geográficos.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

La Figura 3 ilustra el trazado y las estaciones de la L2MB sobre el mapa de la ciudad de Bogotá.

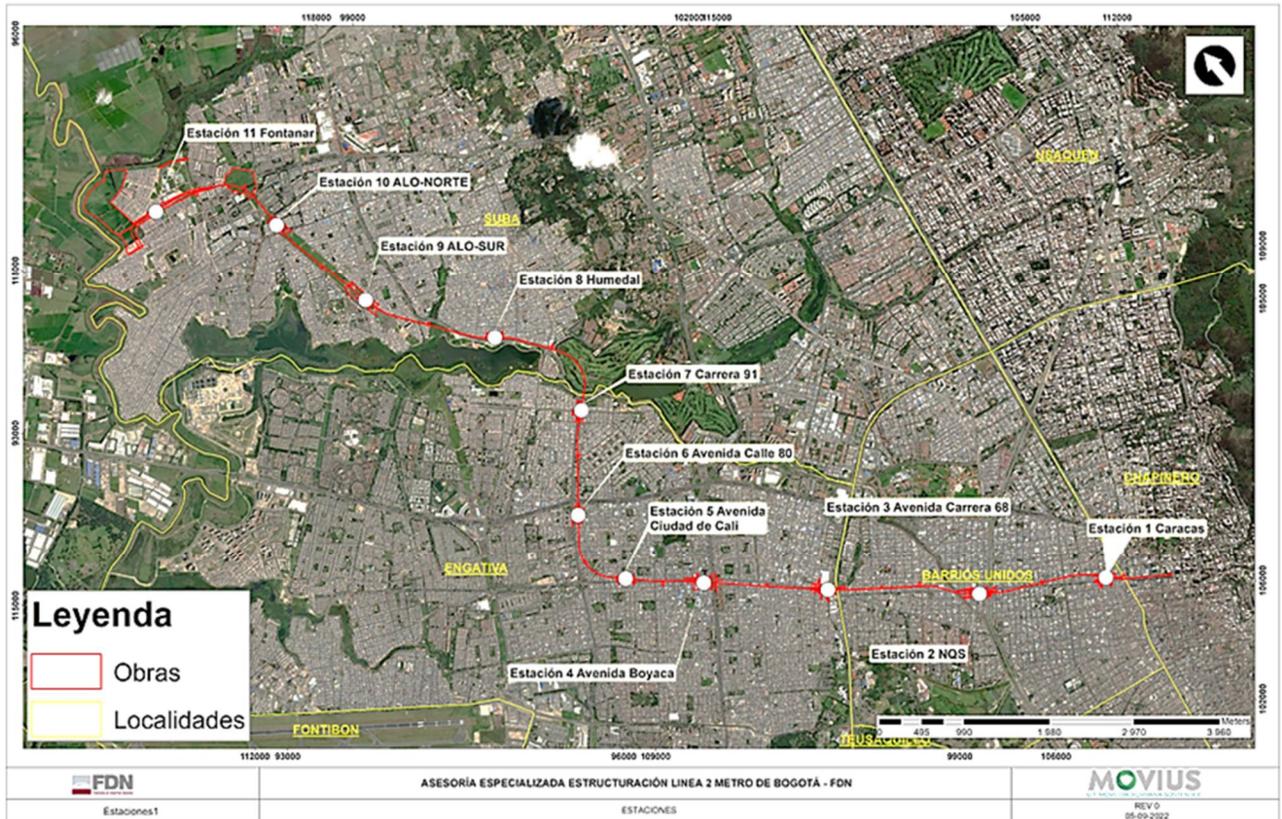


Figura 3. Trazado y estaciones de la L2MB

Fuente: Google Earth - UT MOVIOUS

La L2MB se compone de tres secciones tipo:

- Un tramo en túnel de 14,4 km de longitud (93% del trazado)
- Un tramo en trinchera (transición túnel a viaducto) de 135 m de longitud (1% del trazado)
- Un tramo en viaducto de 1 km de longitud (6% del trazado).

Desde la perspectiva de implantación urbana, y considerando que se trata de una línea principalmente subterránea, se ha tenido especial consideración en evitar afectaciones en superficie como consecuencia de la obra y de su futura operación.



Al respecto, se ha dispuesto geoméricamente un **túnel profundo** para aislarlo de la superficie y minimizar las posibles interacciones dentro de niveles tolerables, según la normatividad nacional e internacional.

Las características del trazado de la L2MB se describen en el numeral [1.2.3.1 Trazado y características geométricas del proyecto](#)

3.2.1. Infraestructura existente

La información sobre la infraestructura existente en la zona del proyecto se presenta en los planos a escala 1:25.000 _L2MB-0000-000-MOV-DP-AMB-PL-0001_V01-2

3.2.1.1. Descripción de las vías, líneas férreas e infraestructura existente

3.2.1.1.1. Vías

En la secuencia fotográfica incluida en el Anexo 3.1 se aprecian las vías urbanas sobre las cuales discurre el túnel del proyecto. Así mismo, se muestra el estado actual de la Calle 145 o Transversal de Suba, donde el túnel emerge a superficie y la línea pasa a viaducto para su ingreso al patio-taller. Otras fotografías de vías existentes que serán utilizadas para la construcción de la L2MB se presentan en el numeral [1.2.1.2 Vías que serán utilizadas por el proyecto, clasificación y estado actual](#).

3.2.1.1.2. Líneas férreas

A la altura de la Av. NQS con calle 72, antes de la Estación 2, el túnel cruza perpendicularmente bajo la línea de Ferrocarril del Norte (Fotografía 1). En este punto del trazado se ha previsto la integración de la L2MB con el futuro proyecto Regiotram del Norte.



Fotografía 1. Línea férrea perteneciente al Ferrocarril del Norte cruzada perpendicularmente por el túnel del proyecto a la altura de la calle 72 con Av. NQS
Fuente: UT MOVIOUS

3.2.1.1.3. Otra Infraestructura existente - Deprimido de la PLMB en Av. Caracas con calle 72

El deprimido de la Av. Caracas con calle 72 es una obra complementaria perteneciente a la Primera Línea del Metro de Bogotá (PMLB), concebida para descongestionar el tráfico vehicular en esa intersección y mejorar la operación del Sistema Transmilenio.

Tendrá un paso a desnivel que permitirá a los vehículos que circulan por la calle 72 pasar por debajo de la Av. Caracas y la carrera 15.

En la Av. Caracas los buses del Sistema BRT y los mixtos pasarán a nivel, en sentidos N-S y S-N, y sobre ella, en viaducto, los trenes de la PLMB. Una cuadra al norte, entre calles 72a y 74, se construirá la Estación 16 de la PLMB, la última de esa línea en ese extremo de la ciudad.

Una vez ejecutado el proyecto se contará con una intersección a desnivel que priorizará los modos de transporte no motorizados y el sistema de transporte masivo. La calle 72 dispondrá, como se indicó, de un deprimido para los vehículos mixtos, generando la conexión entre las dos avenidas con vías de servicio que serán integradas urbanísticamente a los andenes del sector.

Sobre la Av. Caracas se garantizará la conexión operacional del sistema BRT mediante una intersección semafórica que estará armonizada con los ingresos a las estaciones del sistema de transporte masivo. Los parámetros viales tenidos en cuenta para el desarrollo de la intersección fueron los siguientes:

- Deprimidos vehiculares en la calle 72 con anchos de calzadas 6,50 m
- Vías de servicio para conexión entre avenidas de 3,25 m de ancho

- Andenes de ancho mínimo 5 m.
- Dos calzadas para la conexión operacional del sistema BRT sobre la calle 72. La calzada norte contará con un ancho de 7 m y la sur de 3,50 m.
- Sección vial V-2 al oriente de la Av. Caracas y V-3 (existente) al occidente de la Av. Caracas.
- Intersección semaforizada para garantizar el acceso a las estaciones, la conexión operacional del sistema BRT y la conexión de la vía con prioridad ciclista de la Av. Caracas hacia la carrera 15.
- Dos calzadas de Transmilenio de 7 m de ancho
- Separador central de 8 m de ancho en la Av. Caracas
- Vías de servicio sobre la Av. Caracas con prioridad ciclista y ancho mínimo de 4,25 m

Esta configuración se resume en las secciones típicas mostradas en la Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

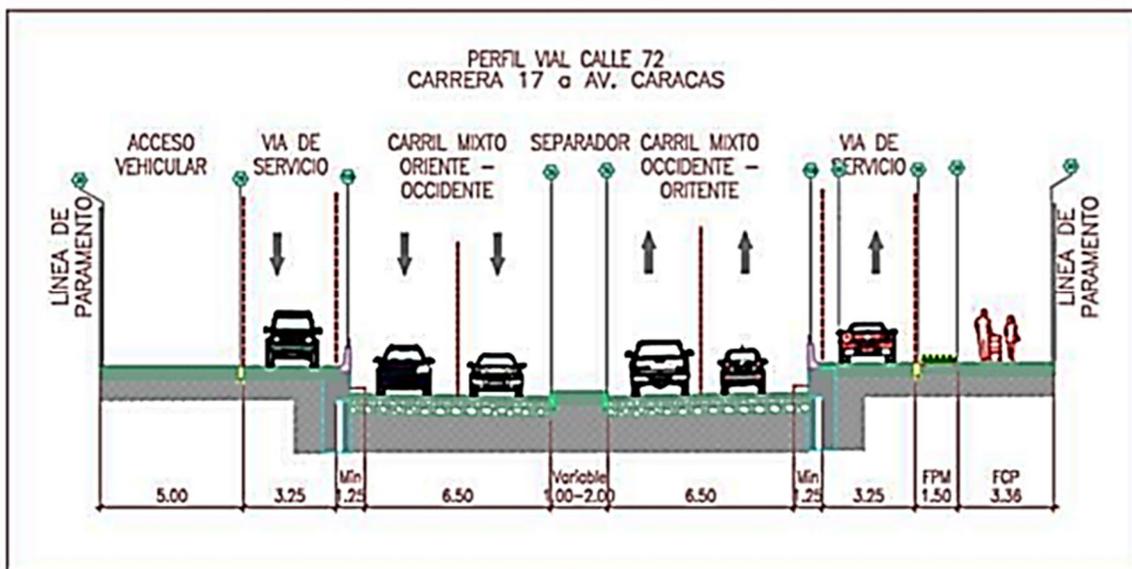


Figura 4. Sección típica vial calle 72 – Occidente Av. Caracas
Fuente: WSP 2021

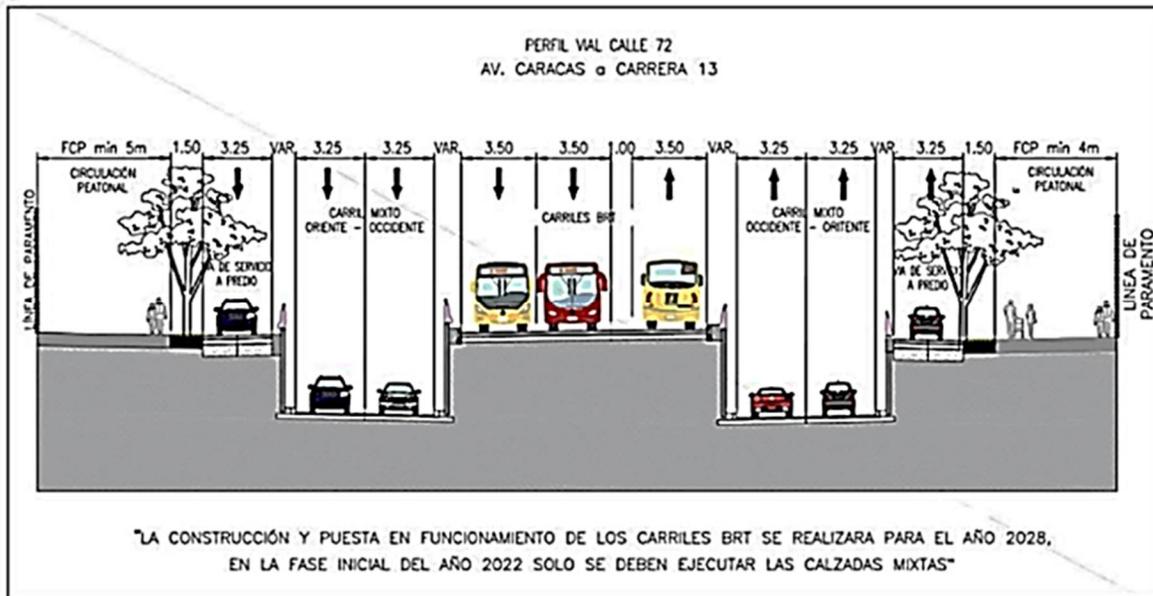


Figura 5. Sección típica vial calle 72 – Oriente de Av. Caracas
Fuente: WSP 2021

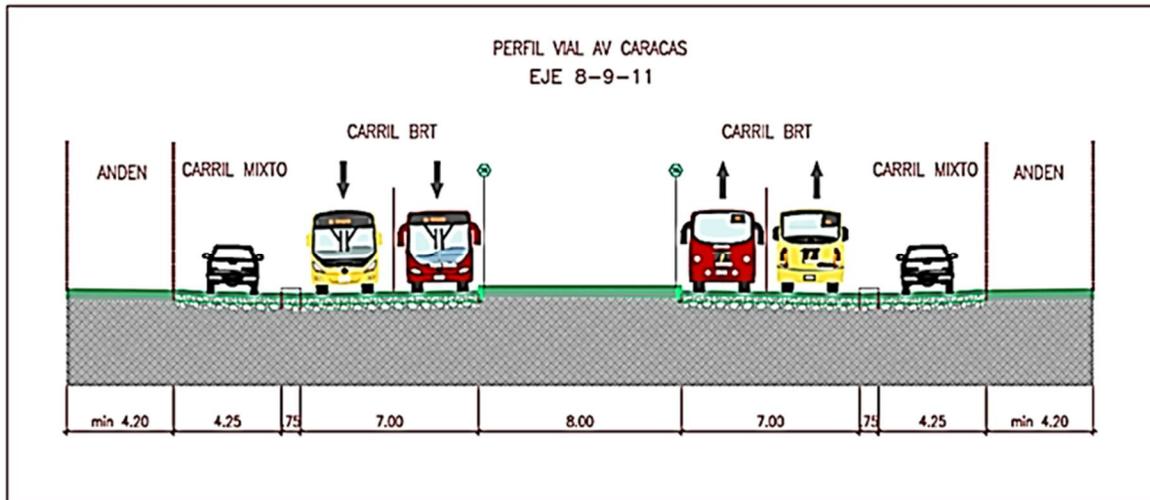


Figura 6. Sección típica vial Av. Caracas
Fuente: WSP 2021

Las obras del deprimido se encuentran en ejecución desde finales de octubre de 2021 y se iniciaron con la construcción de pantallas preexcavadas de ancho variable entre 0,60 m y 0,80 m, que contendrán lateralmente el terreno, evitarán el abatimiento del nivel freático y sostendrán las vigas superiores e inferiores, viga cabezal, vigas puntales y losas superiores e inferiores proyectadas en su interior. Las obras se vienen realizando por etapas para garantizar la continuidad del servicio del sistema Transmilenio. Así mismo, contemplan la restitución de las redes de servicio público al interior del deprimido.

La información correspondiente a las pantallas proviene del Concesionario encargado de acometer su construcción. Indica, entre otros, que la longitud total del deprimido será de aproximadamente 295 m (Figura 7), y como dato fundamental, que



la cota inferior de las pantallas de mayor altura estará 16 m bajo el nivel actual de rasante. La separación entre las mismas variará según se ubiquen en el costado occidental, zona central o costado oriental de la intersección.

Se ha previsto que la clave del túnel de la L2MB pase bajo el deprimido vehicular de la calle 72 con Av. Caracas a una distancia de 8,92 m de la parte más profunda de la pantalla de esta obra.

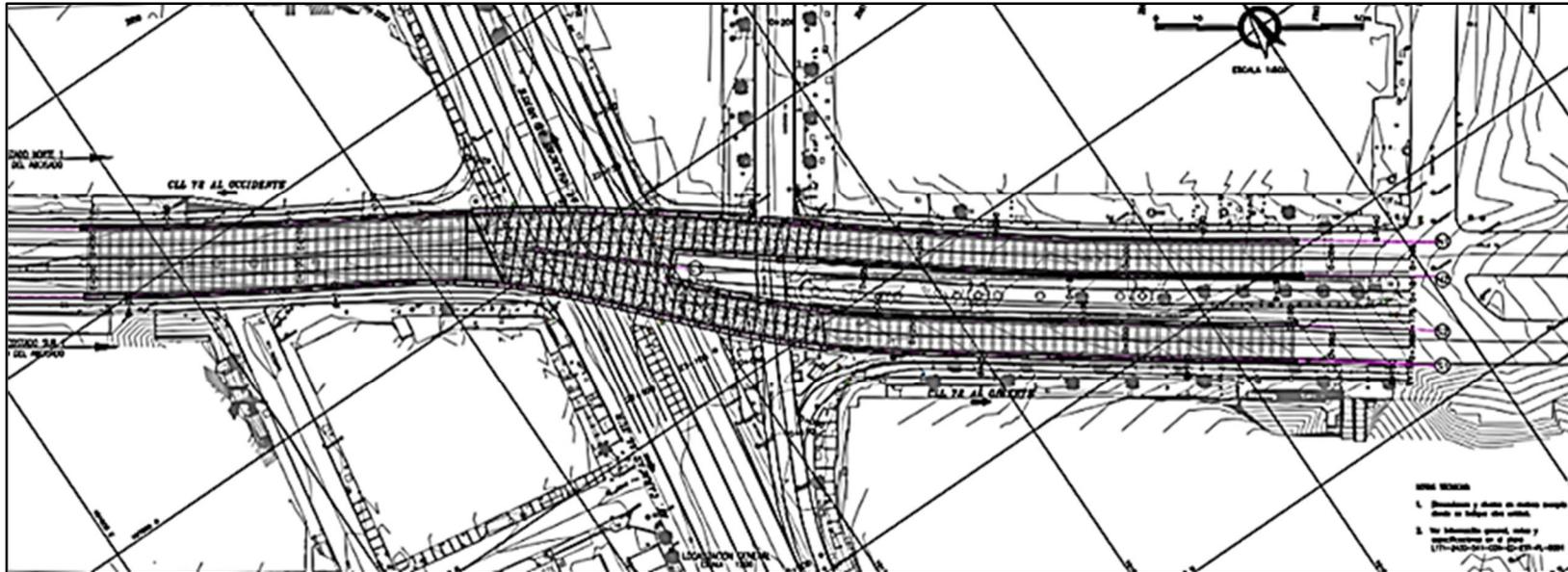


Figura 7. Planta deprimido calle 72 con Av. Caracas
Fuente: WSP 2021



Figura 9 Deprimido calle 72 en costado sur-occidental de la intersección con la Av. Caracas
Fuente: El Espectador – Edición 16/09/2021

3.2.1.2. Vías que serán utilizadas por el proyecto, clasificación y estado actual

En la Tabla 2 se presentan los tramos o segmentos viales afectados por la implantación del proyecto L2MB.

Tabla 2. Vías afectadas por el proyecto en zona del patio-taller

Vía	Tipología POT de Bogotá Decreto 555 del 29 de diciembre de 2021
Calle 145 entre carrera 128 y carrera 148 Carrera 148 entre calle 144 y calle 145	A2
Calle 146 entre carrera 137 y diagonal 147	Intermedia I4
Calle 144 entre carrera 148 y carrera 149C	Malla vial local
Vías perimetrales a estaciones	Malla vial local

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.1.2.1. Calle 145 o Av. Transversal de Suba

Para la construcción del pozo de ingreso de la tuneladora y del tramo en viaducto hasta su ingreso al patio-taller se requiere la intervención de la calle 145 o Av. Transversal de Suba la cual, de acuerdo con la tipología del POT de Bogotá Decreto 555 del 29 de diciembre de 2021, se clasifica como una vía A2.

El corredor del proyecto en este sector se desarrolla en un área residencial consolidada. Al costado norte se encuentra el parque Fontanar. El tramo de la calle 145 entre las carreras 128 y 148 tiene 1 km de longitud, del cual únicamente se encuentran construidos los primeros 200 m, entre las carreras 128 y 136A.

Desde la carrera 136A hasta la carrera 148 existe un carreteable sobre la reserva vial de la Av. Transversal de Suba, cuya situación actual se observa en la Fotografía 2. La carrera 148 entre las calles 144 y 145 no se encuentra construida. Sobre la reserva vial se localiza un parqueadero de 80 m de longitud. Este tramo del corredor no tiene conexión con la red vial actual.

El tramo construido de la calle 145 se desarrolla en un tramo horizontal recto, a nivel respecto a los paramentos adyacentes a la misma y con pendientes de terreno plano inferiores al 2%. El espacio necesario para proyectar los tramos de vía nueva se caracteriza por disponer de un corredor recto o con bajas deflexiones, y con una deflexión cercana a 90 grados en el empalme entre la calle 145 y la carrera 148. Las condiciones actuales del terreno presentan pendientes longitudinales de un terreno ondulado con valores inferiores al 5%.

La sección transversal actual en el tramo construido tiene un ancho entre paramentos de 25 m distribuidos en dos calzadas de 7,5 m, andenes de 3,5 m y un separador de 3 m. El tramo de reserva vial del corredor no construido tiene un ancho promedio entre los extremos de 40 m.



Fotografía 2. Situación actual de la calle 145 o Av. Transversal de Suba entre carreras 136A y 148
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.1.2.2. Calle 146

La intervención de la calle 146 permitirá el acceso vehicular al patio-taller. Se trata de una vía de aproximadamente 350 m de longitud extendida desde la carrera 136D a la diagonal 147 por el costado norte del parque Fontanar. Actualmente, dicha vía no tiene sección vial definida y presenta una superficie en tierra, como se observa en la Fotografía 3.

La geometría horizontal del tramo vial se desarrolla de forma paralela al parque Fontanar, con dos curvas de radios amplios, aptos para la velocidad típica de este tipo de vías. La geometría vertical se presenta a nivel respecto al parque Fontanar, con pendientes cercanas al 5% en el tramo inicial e inferiores al 1% en el tramo final.

La sección transversal actual de la vía es de 6 m, en afirmado, y al inicio de la misma empalma con una vía de dos calzadas de 5 m cada una, de 5 m de ancho. En su parte final empalma con una vía de una sola calzada de 8 m de ancho.



Fotografía 3. Situación actual calle 146 en cercanías del patio-taller
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.1.2.3. Calle 144

Esta intervención se ha previsto para facilitar el acceso al patio-taller por el costado sur. El tramo por intervenir se encuentra ubicado entre la carrera 148 y la carrera 149C, donde empieza el lindero del futuro parque lineal del río Bogotá. La calle 144 corresponde al límite de la zona urbana en este sector de la ciudad y tiene una longitud aproximada de 295 metros. Si bien presenta una sección vial definida, no dispone de andenes y su superficie es en tierra. En la Fotografía 4 se observa su condición actual.

La geometría horizontal del espacio disponible para el tramo de vía es recto, paralelo a los predios adyacentes. Tiene pendientes verticales de terreno plano con valores inferiores al 1%. En relación con la sección transversal, cuenta con un ancho promedio entre paramentos de 12 m.



Fotografía 4. Situación actual calle 144
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.1.3. Vías de acceso al patio-taller

El acceso principal al patio-taller será por la transversal 141A Bis, dando continuidad a la calle 146. Por su parte, el ingreso a la subestación eléctrica, en la parte sur del patio-taller, se hará por la carrera 147 entre la calle 145 y la diagonal 150.

El segmento de vía existente en la transversal 141A Bis entre la diagonal 147 y la diagonal 151 se desarrolla en un tramo horizontal recto de 360 m de longitud. Su condición vertical se presenta a nivel respecto a los paramentos adyacentes a la misma, con pendientes longitudinales en terreno plano de valores inferiores al 2%. La sección vial actual tiene un ancho de calzada de 8,5 m con andenes en el costado sur y una zona verde en el costado norte (Fotografía 5).



Fotografía 5. Situación actual transversal 141A Bis
Fuente: UT MOVIUS 2022

El tramo de vía existente de la diagonal 151 y la carrera 147 entre la calle 145 y la transversal 141A Bis se desarrolla con un alineamiento horizontal provisto de un tramo ondulado y uno recto. Dispone de una curva con una deflexión cercana a los 90° que conecta la carrera 147 y la diagonal 151. El perfil vertical de los tramos viales actuales se desarrolla en paralelo a los paramentos adyacentes, con pendientes longitudinales inferiores al 1%. La sección vial tiene un ancho de calzada promedio de 8,5 m y andenes sobre ambos costados, con anchos predominantes de 3,5 m (Fotografía 6).



Fotografía 6. Situación actual diagonal 151
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.1.3.1. Vías intervenidas en zonas de estación

Para la construcción de las estaciones y para mejorar las condiciones de algunos accesos a las mismas se prevé la afectación de las vías indicadas en la Tabla 3. La mayoría de las mismas corresponden a vías locales ubicadas en zonas urbanas consolidadas. También se presentan algunas vías intermedias y en las estaciones E9 y E10, sobre el corredor de la ALO, una vía con tipología A0 sin conformación geométrica completamente definida en el corredor existente.

Tabla 3. Vías afectadas por el proyecto en zonas de estación

Estación	Corredor / Vías	Desde	Hasta	Estado actual
1	KR 20A	CLL 72	CLL 72A	Vía de 60 m longitud de intervención, con 7 m de ancho de calzada, unidireccional, con viviendas y locales comerciales en ambos costados, anchos de andén de 5 m y pendientes longitudinales variables entre el 1,2 y 2,47%. El estado de conservación del pavimento es óptimo.

Estación	Corredor / Vías	Desde	Hasta	Estado actual
	KR 20B	CLL 72	CLL 72A	Vía de 60 m de longitud localizada en una zona urbana consolidada, con pendientes longitudinales variables entre el 1,2 y 1,3%. La señalización vertical y horizontal, así como el pavimento, se encuentran en buen estado. Los andenes son de 5 m de ancho, en mal estado.
	CL 72A	KR 20C	KR 20	Vía de 250 m de longitud localizada en una zona urbana consolidada con un ancho de calzada variable entre 7,5 y 8,5 m., con una pendiente longitudinal variable entre 0,8 y 1,0%. Dispone de andenes de 2,5 m de ancho, señalización vertical y horizontal en mal estado, y pavimento deteriorado.
2	KR 50	CLL 72	CLL 71C	Vía de 77 m de longitud, con 0,55% de pendiente. El ancho de calzada es de 8 m y el de los andenes de 2 m, ambos en mal estado.
	KR 52	CLL 73	CLL 71C	Vía localizada en una zona urbana consolidada. Tiene 80 m de longitud, pendiente longitudinal del 1,6%, ancho de calzada de 8 m y pavimento en buenas condiciones.
	CLL 71C	KR 53	KR 50	Vía de calzada unidireccional desarrollada en una longitud de 262 m, con un ancho de 9 m, bombeo al 2% y pendiente longitudinal variable entre 0,46 y 0,56%. El pavimento se encuentra en condiciones regulares, al igual que los andenes, de 2,5 m de ancho en promedio.
3	KR 68B bis	CLL 71	AV CHILE	Vía urbana unidireccional de 87 m de longitud, con un ancho de calzada de 6 m y pendiente longitudinal de 0,5%. El estado del pavimento es regular y cuenta con mala señalización vertical y horizontal. Colinda con la Av. Chile pero no accede a la misma a causa de una zona verde privada que se interpone.
	KR 68B	CLL 71	AV CHILE	Vía de 100 m de longitud que da acceso a la Av Chile, con pendiente máxima de 0,5%, ancho de calzada de 8 m andenes de 1,5 m de ancho, provista de señalización vertical y horizontal en buen estado.
	KR 68C	CLL 73	AV CHILE	Vía localizada en zona comercial con una longitud de 114 m, un ancho de calzada de 7 m en pavimento flexible de condiciones regulares, anchos de andén de 2,5 m y una pendiente longitudinal variable entre -1% y 1,75%

Estación	Corredor / Vías	Desde	Hasta	Estado actual
	CLL 72A	KR 68C	KR 68G	Vía de 80 m de longitud con un ancho de calzada de 4 m, ubicada sobre una zona urbana consolidada unidireccional, con pavimento en malas condiciones.
	OREJA AV KR 68 OR-SUR			Eje conectante de la Av Kra 68 oriente-sur, con una longitud aproximada de 100 m, unidireccional, de 6 m de ancho de calzada.
	CONECTANTE NORTE OCC ALKOSTO			Vía conectante entre AV Kr 68 y Almacén ALKOSTO, de 200 m de longitud y ancho de calzada de 5,55 m.
	CONECTANTE NORTE OCC			Eje conectante entre AV Kra 68 y Calle 72A sentido norte-occidente, con una longitud aproximada de 200 m y ancho de calzada de 7,5 m.
4	KR 73A	AV CHILE	CLL 71A	Vía de 100 m de longitud, pendiente longitudinal inferior al 0,5%, y ancho de calzada de 6,5 m, en buenas condiciones de pavimento. Anchos de andén variables entre 2 y 2,5 m
	CLL 71A	KR 73A	AV BOYACÁ	Vía de 250 m de longitud con pendiente longitudinal variable entre 0,3 y 1%, calzada unidireccional de 6 m con pavimento en muy mal estado y andenes de anchos variables entre 2 y 2,5 m.
5	KR 81A	AV CHILE	CLL 72A	Vía localizada en zona urbana consolidada con una longitud de 50 m hasta la intersección, con pendiente longitudinal aproximada variable entre 1% y 0,35% y ancho de calzada de 7 m, con pavimento y andenes en buenas condiciones.
	KR 80	AV CHILE	CLL 72A	Vía ubicada en zona urbana consolidada con una longitud de 45 m y pendiente longitudinal aproximada variable entre 0,3 y 1%, pavimento en buenas condiciones en un ancho de calzada de 7 m, y andenes de ancho variable entre 2 y 2,5 m.
	CLL 72A	KR 81A	KR 80	Vía ubicada en zona urbana consolidada con una longitud de 200 m, pendientes longitudinales menores al 0,5%, ancho de calzada de 7 m con pavimento en buenas condiciones y andenes de 2 m de ancho en buen estado.
6	CLL 77A	AV CALI	KR 85	Vía con acceso a la Cra 86, de 80 m de longitud, bidireccional, con pavimento y andenes en buen estado, ancho de calzada de 9 m y andenes de 2,5 m de ancho.

Estación	Corredor / Vías	Desde	Hasta	Estado actual
	CLL 78	AV CALI	KR 86	Vía ubicada en zona urbana consolidada, de 50 m de longitud, unidireccional, 6 m de ancho de calzada, andenes de 2 m de ancho y 15 cm de altura máxima, con pavimento y andenes en buenas condiciones.
	KR 85A	CLL 80	CLL 78	Vía con acceso a la estación de Transmilenio Av Ciudad de Cali, de 70 m de longitud, 6 m de ancho de calzada y andenes con anchos máximos de 2 m, en buenas condiciones.
7	CLL 90	AV CALI	KR 84B	Vía ubicada sobre una zona urbana consolidada, de 60 m de longitud en doble calzada, con dos carriles de circulación en el mismo sentido de tráfico, con anchos de calzada de 8 m. Pavimento en buenas condiciones.
	CLL 90A	AV CALI	KR 84B	Vía colindante con zona urbana y con el parque La Serena, de 50 m de longitud y ancho de calzada de 7 m, unidireccional, con una pendiente longitudinal de 0,8% y andenes de 2,5 m de ancho. Pavimento en buenas condiciones.
	KR 85A	CLL 89	CLL 90	Vía que accede a la calle 90 en zona urbana consolidada, bidireccional, de 118 m de longitud y 0,90% de pendiente, con anchos de calzada y de andén de 3,5 m y 1,5 m respectivamente. Pavimento en buen estado .
8	KR 93C	AV CALI	CLL 127C BIS	Vía de 50 m localizada en zona urbana consolidada bidireccional con ancho de carril de 3,5 m en pavimento rígido, en buenas condiciones y andenes de ancho variable entre 1,5 y 2,5 m, en buen estado.
	KR 93C BIS	CLL 127b	CLL 127 C Bis	Vía de 45 m de longitud y 3,5 m de ancho de calzada, localizada en zona urbana consolidada y construida en pavimento rígido, en buenas condiciones.
	KR 94	CLL 127b	CLL 127 C Bis	Vía de 94 m de longitud, unidireccional, con pendiente longitudinal aproximada variable entre 3,5 y 1,5 %, ancho de carril de 3 m y andenes de 1 m de ancho. Pavimento en buen estado,
	KR 95	CLL 127b	CLL 127 C Bis	Vía de 60 m de longitud ubicada sobre zona urbana consolidada con pendiente longitudinal aproximada variable entre 0,3 y 1,2%, ancho de calzada de 3.5 m y andenes de ancho variable entre 1 y 1,5 m. Pavimento flexible en malas condiciones.

Estación	Corredor / Vías	Desde	Hasta	Estado actual
	CLL 127B	KR 93C	KR 95	Vía de 200 m de longitud ubicada sobre zona urbana consolidada, construida en pavimento flexible, en buen estado, con ancho de calzada de 5 m y andenes de 1 m de ancho.
9	CLL 129D	KR 119D	KR 120	Vía de 55 m de longitud y ancho de calzada de 6 m, sin andenes, colindante con terrenos baldíos y zona urbana. Pavimento en condiciones regulares.
	KR 119D	CLL 129D	KR 118	Vía de 118 m de longitud, localizada en terrenos baldíos, desarrollada en una sola calzada de 13 m de ancho, sin andenes, con malas condiciones de pavimento.
	ALO OCCIDENTE	CLL 129 D	CLL 130 F	Vía nueva que se construirá en terrenos baldíos.
	ALO ORIENTE (KR 118)	KR 119D	CLL 131	Vía sin pavimentar de 390 m de longitud, con pendientes longitudinales aproximadas variables entre 5,5 y 0,89% .
10	CLL 139	KR 118 (ALO OCCIDENTE)	KR 118 (ALO ORIENTE)	Vía bidireccional de 35 m de longitud ubicada entre terrenos baldíos, con 7 m de ancho de calzada y carril de cicloruta de 2,5 m de ancho. Dispone de andenes en buenas condiciones.
	KR 118 (ALO ORIENTE)	CLL 139	CLL 142	Vía localizada paralelamente a dos zonas verdes,, bidireccional, sin andenes, con ancho de calzada de 7 m, pendiente longitudinal aproximada de 0,5% y pavimento en condiciones óptimas.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.2. Etapas y fases del proyecto

El proyecto L2MB fue concebido en cuatro fases. La primera, ya finalizada, correspondió a su planeación, en la cual se abordó la elaboración del Plan de Trabajo de la estructuración. Posteriormente, en la segunda fase, igualmente finalizada, se desarrollaron los análisis, estudios y diseños de factibilidad necesarios para lograr el aval técnico y fiscal del proyecto por parte del Gobierno Nacional. En la tercera fase, actualmente en desarrollo, y luego de haberse otorgado el mencionado aval, se vienen llevando a cabo, desde el componente técnico, los estudios y diseños complementarios requeridos para la estructuración. Por último, la cuarta fase comprenderá los análisis necesarios en los componentes técnico, legal, financiero y de riesgos, que permitan valorar las condiciones del proyecto y de esta forma preparar la estructuración del modelo de transacción con los documentos necesarios para llevar a cabo los procesos de selección del constructor.

3.2.2.1. Actividades previas

3.2.2.1.1. Trámites con entidades

En el marco del estudio de factibilidad se han remitido un total de 224 comunicaciones a 52 entidades públicas y privadas. El objeto principal de las mismas ha sido solicitar información actualizada de carácter formal y socializar el proyecto con aquellas, invitándolas a participar en reuniones virtuales o presenciales celebradas para ese propósito particular.

La mayor parte de las entidades contactadas respondieron diligentemente a los requerimientos planteados, ya sea suministrando la información requerida y/o participando de manera activa en las reuniones de socialización.

La gestión con las entidades ha continuado extendiéndose a lo largo de la estructuración en la medida en que surgieron nuevas necesidades de información para el ajuste de los diseños, de manera que sus definiciones de trazado, ubicación y características de estaciones, material rodante, afectaciones ambientales y prediales, procesos constructivos y costos estimados, continúen consolidándose e informándose a los distintos estamentos institucionales y comunitarios.

3.2.2.1.2. Topografía

Los estudios topográficos realizados permitieron la obtención de la información adecuada y necesaria para elaborar los diseños de factibilidad junto con su componente vial urbano y de espacio público.

El levantamiento topográfico se ejecutó mediante tecnología LIDAR aerotransportado y se complementó con uso de técnicas y tecnologías fotogramétricas, y con topografía convencional de detalle.

Como resultado del mismo, se obtuvo la representación gráfica del terreno en planimetría y altimetría en la totalidad de la zona del corredor, con un ancho mínimo de 100 metros a cada lado del alineamiento del trazado.

3.2.2.1.3. Exploraciones geotécnicas

El plan de exploraciones para la caracterización geomecánica del corredor se planteó para reducir las incertidumbres de origen geotécnico en la zona del proyecto y en esa medida reducir los riesgos para los oferentes que participen en el proceso licitatorio, generando condiciones favorables para cualquier modelo de transacción que se adopte. Para cumplir con este objetivo, se planteó la ejecución del mencionado plan en dos fases:

- Fase 1: En esta fase se establecieron los requisitos mínimos de caracterización requeridos por el proyecto. La información levantada en la misma permitió caracterizar el corredor del proyecto y adelantar el diseño de las obras proyectadas.
- Fase 2: En esta fase se complementó la información levantada en la fase anterior, eliminando incertidumbres en la medida en que se redujo la distancia entre sondeos.

Las cantidades de exploración que se previeron para una y otra de las fases antes mencionadas se incluyen en la Tabla 4.

Tabla 4. Exploraciones geotécnicas por fase

Tipo	FASE 1		FASE 2	
	Puntos de exploración	Longitud	Puntos de exploración	Longitud
PT	70	3.375	47	1.810
CPT	23	1.055	63	2.140
SCPT	36	1.710	30	1.065
Totales	129	6.140	140	5.015
Participación	43,64%	56,90%	47,42%	43,46%

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.2.1.4. Exploraciones de pavimentos

En la Tabla 5 se presentan las cantidades de exploración ejecutadas para evaluar las condiciones de los pavimentos en las zonas aledañas a las estaciones, en las cuales se requerirán desvíos mientras se adelanta la construcción de las obras.

Tabla 5. Exploraciones de pavimentos

Item	Unidad	Cantidad
Georradar	km	13,46
PCI	km-calzada	13,46
FWD	pto	136
Apiques	un	40

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la estimación de estas cantidades se consideró una longitud de 3 285 m de vías alrededor de cada estación y por tanto, para la evaluación de la capacidad estructural y del estado de los pavimentos existentes, se ejecutaron mediciones de espesores con georradar, auscultación (PCI), deflectometría cada 100 m y un apique de validación de espesores cada 500 m.

El plan de exploración de pavimentos no incluyó exploraciones a lo largo del corredor, puesto que a diferencia de la PLMB, en este proyecto no se contempla la reconfiguración de la sección vial a lo largo del mismo y las únicas intervenciones que se prevén a nivel de pavimentos son las relacionadas con las vías de desvío asociadas a la construcción de las estaciones..

3.2.2.1.5. Estudio de demanda

El estudio de demanda del proyecto se dividió en dos fases:

- Fase 1: Estimaciones de demanda del proyecto a partir de información secundaria, utilizando como base el Modelo de 4 Etapas más actualizado de la SDM.
- Fase 2: Evaluación del comportamiento de la demanda bajo diferentes supuestos financieros, económicos, sociales y operacionales, según se desarrolle la estructuración integral del proyecto.

Los escenarios de oferta lo constituyeron principalmente los nuevos proyectos de infraestructura vial o de sistemas de rutas de transporte público considerados dentro de los escenarios futuros del Modelo de 4 Etapas de la SDM, incluyendo proyectos de gran envergadura, viales o de transporte público, que puedan impactar a la L2MB, como por ejemplo ampliaciones de la red troncal del Sistema Transmilenio.

A partir de lo antes mencionado, se configuraron tres escenarios asociados a la planeación y priorización de proyectos de transporte público de la ciudad, con los cuales se pudo determinar, entre otros, la información de demanda, la información de beneficios sociales y el dimensionamiento del proyecto.

El Escenario 1 correspondió a aquel donde se incorporan los proyectos actualmente en construcción o altamente probables en cuanto a su implementación, adicionando la L2MB. En consecuencia, a partir de dicho escenario se generó la primera estimación de la demanda del nuevo proyecto L2MB.

Los Escenarios 2 y 3 se conformaron con los proyectos contemplados en el Escenario 1, adicionando otros proyectos de transporte público y privado con los cuales se estimaron pronósticos adicionales de la demanda de la L2MB.

Las conclusiones del estudio de demanda fueron las siguientes:

Las corridas de estimaciones de demanda se realizaron utilizando la última versión del Modelo de Transporte de 4 Etapas recibido de la SDM, para lo cual previamente se hicieron revisiones del detalle geográfico del trazado de la línea, localización de estaciones, revisión de la velocidad entre estaciones y tiempos de parada, incorporación de la propuesta de reestructuración de rutas y ofertas de transporte consideradas para el desarrollo del estudio.

Se identificó que el modelo entregado por la SDM no contenía estrictamente las redes y matrices asociadas a la prefactibilidad de la L2MB. La versión entregada correspondió a una versión actualizada con cambios realizados por la SDM.

Se hizo una comparación de los resultados obtenidos y presentados en el Estudio de Prefactibilidad año 2030, resultados del modelo de la SDM, Escenario 32000: 2032, con los resultados obtenidos en las Estimaciones de Demanda del presente estudio, año 2030, obteniéndose los siguientes resultados:

- En sentido Sur - Norte, las cargas estimadas en el estudio tienen un comportamiento similar con los resultados obtenidos por la SDM, en el tramo calle 72 - Av. Boyacá.
- En la Estación de la Av. Cali, el comportamiento difiere en relación con la SDM, debido a que el modelo de la SDM contempla la implantación de la Troncal Av. Cali hasta la Av. Calle 80 y su integración en este punto con la L2MB, lo que incrementa las cargas a partir de esta estación y hasta la Estación Fontanar.
- Para el sentido Norte - Sur las cargas estimadas en el estudio son similares a las estimadas en el Modelo de la SDM.

Los abordajes a estaciones se presentan mayormente en la estación Carrera 91 en la Visión 1 de los tres cortes temporales modelados (2030, 2035 y 2040) y analizados en la Oferta 1. En estos escenarios se tiene en cuenta la operación de los proyectos viales desarrollados y planeados en los próximos años, así como el crecimiento poblacional y los usos del suelo relacionados. En dicha estación, los abordajes totales no presentan un crecimiento diferencial entre escenarios puesto que la cantidad de abordajes para el año 2030 es de 12.556 y para el año 2040 se proyectan 12.675 en Oferta 1. Por otra parte, es constante que el mayor número de abordajes por transferencias se dé en la estación Av. 68 para la Oferta 1 y en la Calle 80 para la Oferta 2, siendo coherente con la atracción generada por las correspondientes troncales BRT.

Respecto a la Visión 2, la estación con mayor número de abordajes depende del escenario de oferta. En el caso de las Ofertas 2 y 3, la estación ALO sur presenta la cantidad de abordajes más alta de todas las estaciones, oscilando entre 12.716 (2030) y 13.094 (2050), atrayendo 378 abordajes al año final analizado. La mayor cantidad por transferencias se genera en las estaciones Calle 80 y Av. Boyacá.

En la Visión 3, la estación ALO sur proyecta la mayor cantidad de abordajes en las ofertas analizadas, donde la cantidad de abordajes oscila entre 12.065 y 15.081. Con respecto al mayor número de abordajes por transferencias, se obtiene que la estación Av. 68 presenta el valor más alto en los cortes temporales 2030 y 2040 de la Oferta 1, mientras que la estación Av. Calle 80 tiene las transferencias de abordaje más altas en los demás cortes temporales de las Ofertas 1, 2 y 3.

Se determinó que entre mayor sea el desarrollo de la ciudad y su área metropolitana en términos de infraestructura vial y sistemas de transporte público ofertados a la población que la habita, menor o igual será la cantidad de abordajes que efectúen a las estaciones de la L2MB. Así mismo, que el aumento en la cantidad de abordajes de transferencia depende directamente de la implementación y operación de nuevas troncales BRT y líneas de metro que cuenten con estaciones de integración modal.

Como resultado de los diferentes escenarios corridos bajo las tres visiones y ofertas, se concluyó que las mayores transferencias de usuarios entre sistemas de transporte público se darán entre los sistemas integrados de transporte público de Bogotá (SITP implementado y Transmilenio) y el sistema Metro.

Analizando las cargas en todos los corredores de transporte público, se evidencia que para el año 2030 las cargas que recibe cada uno de los corredores son superiores a las cargas 2035, 2040 y 2050, puesto que la oferta de proyectos es reducida con respecto a dichos años. Adicionalmente, es importante anotar que comparando ofertas, es decir analizando la misma oferta en el mismo año, se evidencia una tendencia general de obtener mayor carga de pasajeros con la Visión 2 en los diferentes corredores de transporte público evaluados.

Luego de analizar las cargas de manera independiente del corredor de la L2MB, se destaca que a medida que transcurren los años la demanda irá disminuyendo como consecuencia del incremento de oferta de proyectos de transporte.

Para el análisis de sensibilidad se parte de que hay variables que afectan positivamente los abordajes de la L2MB, como Velocidad del Metro Alto, Tarifa de L2MB Bajo (2200) y Tarifa de Integración Zonal a L2MB. De igual forma, se definen variables que presentan una variación negativa en la carga de la L2MB como Velocidad del Metro bajo, Tarifa de L2MB Alto (2600), Tiempo de Acceso a Estaciones 1,5 (3 min subida/bajada) y Penalidad de transbordo a L2MB.

Una vez analizada la cantidad de viajes producidos y atraídos para cada corte temporal, y según oferta de Bogotá y de los municipios aledaños, se encontraron resultados muy similares entre sí. La tendencia para todas las ofertas y para corte temporal es que Bogotá representa la mayor cantidad de viajes producidos y atendidos, con porcentajes entre el 95% y 97%, mientras que el porcentaje que representa los demás municipios oscila

entre el 3% y 5%. Igualmente, se encontró que después de Bogotá el municipio que tiene la mayor cantidad de viajes producidos y atraídos es Soacha, seguido por La Calera, pero con registros muy inferiores respecto a Bogotá. Adicionalmente, se encontró que municipios tan cercanos como Cota o Chía no presentan cifras significativas para cada uno de los cortes temporales.

Respecto a las cargas máximas en el sistema para las tres visiones de ciudad, las mayores cargas se presentan en el sentido Norte - Sur, y el tramo de mayor carga se ubica entre las estaciones Av. 68 y Av. Boyacá. La mayor carga se obtiene en el escenario de Visión 3 y Oferta 1 en el corte temporal 2040, con una carga máxima de 57.495.

De acuerdo con la evaluación de los escenarios de oferta y demanda analizados en el estudio, se recomendó considerar el escenario que contempla la Oferta 1 y la Visión 3 de ciudad, teniendo en cuenta que la Oferta 1 es aquella que cubre los proyectos más probables de ejecución y la Visión 3, de crecimiento de ciudad, es la que corresponde a la visión de la actual administración. Adicionalmente, el escenario de Oferta 1 con la Visión 3 de ciudad es el que generaría la mayor demanda de pasajeros.

3.2.2.1.6. Debida diligencia técnica

Los objetivos de la Debida Diligencia Técnica realizada en la etapa inicial del proceso de estructuración, fueron los siguientes:

- Revisar y analizar la información de las etapas previas a la elaboración de los estudios y diseños de factibilidad.
- Recolectar, revisar y analizar los estudios e información relacionada con los proyectos en ejecución o por ejecutar en el área de influencia del trazado, que tengan injerencia con el desarrollo de la L2MB.
- Recolectar, revisar y analizar la normatividad técnica nacional e internacional aplicable, tanto en materia de sistemas férreos como en aquellos componentes y disciplinas que abarcan los estudios y diseños de factibilidad, de modo que se identifiquen aquellos aspectos a considerar en los diseños.
- En general, durante este proceso, revisar y analizar el nivel de desarrollo de los estudios realizados de cara a la estructuración del proyecto para evaluar su impacto en la realización del estudio.
- Realizar un análisis de experiencias internacionales (*benchmarking*) de proyectos similares, focalizando los esfuerzos en brindar buenas prácticas y lecciones aprendidas durante los procesos de licitación, adjudicación, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de transporte férreo masivo de pasajeros y de infraestructuras en túneles, que puedan servir de ejemplo para el proyecto objeto de este alcance, teniendo especial cuidado con su contextualización al medio local y la identificación y mitigación de los impactos generados por causa de la ejecución. Así mismo, dentro de este análisis, incluir una revisión de los problemas identificados en los referentes estudiados, de modo que pueda proponerse acciones para evitar su ocurrencia en el proyecto.

Bajo ese contexto, los esfuerzos que se hicieron al respecto se enfocaron en:

- Revisar y evaluar la información disponible sobre el proyecto (estudios desarrollados, información complementaria, premisas de trabajo, etc.)
- Recolectar los datos necesarios y existentes para el desempeño de las actividades de diseño técnico del proyecto, así como su análisis

- Revisar la normatividad técnica al nivel del proyecto y al nivel de los distintos componentes técnicos que lo conforman
- Proporcionar elementos de *benchmarking* de proyectos similares al proyecto L2MB para fomentar las bases y el entendimiento entre actores tanto sobre la consideración de casos y contextos específicos de estos proyectos, así como para poder tomar en cuenta lecciones aprendidas que pueden ser consideradas en el marco del contexto de la L2MB
- Establecer la lista de proyectos urbanos y/o de infraestructuras cuyos desarrollos requieren ser considerados para el proyecto L2MB, identificando potenciales limitaciones y oportunidades de desarrollo común, así como potenciales necesidades de ajustes entre estos proyectos
- Identificar todos los trámites para la obtención de permisos, autorizaciones y licencias requeridos para el desarrollo del proyecto, los requisitos para su obtención y la entidad ante la cual se debe realizar cada trámite, así como los tiempos estimados para su consecución, realizando un cronograma de diligencias, permisos, autorizaciones y licencias que permita el cumplimiento de los tiempos previstos para la ejecución del proyecto

Con lo anterior, se definió y fortaleció el marco de entendimiento común de la multitud de retos que requieren resolverse a lo largo de la estructuración. Además, la Debida Diligencia técnica permitió definir, entre otros, el punto de partida para completar los diseños de factibilidad y el aval técnico y fiscal, así como la posterior estructuración, todo lo cual se optimizó y detalló con lo que fue desarrollado en el marco del estudio de prefactibilidad.

Los proyectos, datos y estudios identificados y analizados en el marco de la debida diligencia técnica de la L2MB fueron los siguientes:

- Estudio de prefactibilidad del proyecto de L2MB (UT Egis-Steer David; 2020-2021, Contrato 033 de 2020),
- Estructuración técnica de la PLMB (UT Metrobog, 2017-2019, Contrato 02 de 2017),
- Diseño detallado del deprimido vial de la Avenida Caracas / Calle 72 de la PLMB (Metro Línea 1 SAS, 2021, Contrato 163 de 2020),
- Corredor verde carrera séptima – Estudio de idea y prefactibilidad (SDM-IDU, 2021),
- Informe de actividades de la ruta de participación ciudadana incidente en la primera fase de la etapa de co-creación del proyecto del corredor verde de la carrera séptima” (IDPAC),
- Síntesis proceso de co-creación y participación ciudadana en la fase de desarrollo conceptual del corredor verde carrera séptima – Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá),
- Documento técnico de soporte factibilidad proyecto corredor verde carrera séptima entre calles 26 y 200 (IDU, 2021),
- Parámetros técnicos operacionales y de infraestructura corredor verde carrera séptima (Transmilenio, 2021),
- Proyecto Ciclo Alameda Medio Milenio (IDU - Consorcio Medio Milenio IDE, 2021),
- Componente de tránsito de la factibilidad estratégica para el corredor verde de la carrera séptima (SDM, 2021),

- Documento CONPES 4034 - Apoyo del Gobierno Nacional a la actualización del Programa Integral de Movilidad de la Región Bogotá-Cundinamarca (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2021),
- Factibilidad, estudios y diseños para la adecuación al Sistema Transmilenio de la Troncal Av. Congreso Eucarístico (Carrera 68) desde la Carrera 7 hasta la Autopista Sur y de los equipamientos urbanos complementarios (Contrato 1345-2017 - Consorcio Consultores Transmilenio, 2019),
- 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. (Contrato IDU-1352-2017 - Consorcio Troncales Bogotá, 2019),017
- 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 Avenida Villavicencio hasta la Avenida Cali y ramal Avenida de las Américas hasta la Avenida Cali, Bogotá D.C. (Contrato IDU 1475-2017 - Unión Temporal APP ALO, 2018),
- Información entregada por la EMB en presentaciones y documentos acerca de la constructibilidad de la cola de maniobras, trámite para el cruce del deprimido de la Cl. 72 y plan de exploración geotécnica mínima (EMB, 2021),
- Evaluación del derrumbe de la calle 72 con carrera 7, costado sur-occidental, ocurrido el 9 de mayo de 1994. Informe de la comisión investigadora (Sociedad Colombiana de Ingenieros, septiembre de 1994).
- Bienes de interés cultural potencialmente afectados por el trazado del proyecto (Ministerio de Cultura, Instituto Distrital de Patrimonio Cultural),
- Fuentes propias de información de las empresas que conforman la Asesoría para el desarrollo de las actividades de *benchmarking*.

3.2.2.1.7. Estudios prediales

A partir de las áreas de intervención definidas por los componentes de diseño geométrico, urbanismo y paisajismo, se seleccionaron los lotes incorporados en las áreas de intervención.

De esta selección de lotes se hizo un descarte de algunos de ellos por factores de afectación mínima, espacio público, propiedades del Distrito y lotes urbanizados no edificados del Estado, obteniéndose como resultado un “Listado de Lotes Afectados”. Posteriormente, se procedió a definir el tipo de afectación del terreno para cada uno de los mismos, analizando su tipo de afectación, ya fuera parcial o total.

Se identificaron **756 predios** requeridos para la construcción del proyecto, con la siguiente discriminación por tipo de obra:

- Estaciones (71%)
- Accesos satelitales (20%)
- Pozos de evacuación, ventilación y drenaje (7%)
- Patio-taller (2%)

La información complementaria sobre los predios afectados por el proyecto se presenta en el numeral [1.2.20 Requerimiento de demolición de viviendas u obras de infraestructura](#).

3.2.2.2. Actividades de construcción

Para el desarrollo de la obra se han previsto procesos constructivos de uso generalizado en este tipo de desarrollos, en función de rendimientos y secuencias indicativas que deberán ser valoradas y ajustadas por el constructor seleccionado.

Por su complejidad y demanda de recursos, se han determinado las principales actividades del proyecto, dividiéndolas en dos grandes grupos:

Para el sistema ferroviario:

- Túnel
- Estaciones
- Sistemas ferroviarios
- Material rodante
- Pruebas

Para las obras complementarias:

- Diseños y construcción adecuación patio-taller
- Estaciones
- Espacio público y urbanismo, básicamente en zona de estaciones
- Reconfiguración infraestructura vial área patio-taller

Las demás obras de menor magnitud, como accesos a estaciones, podrán ser desarrolladas dentro de los plazos de las obras principales. Los diseños, secuencia constructiva, restricciones y supuestos para la construcción del túnel y estaciones del metro condicionarán la secuencia constructiva de las obras complementarias, como son la infraestructura vial, renovación urbanística y recuperación de espacio público.

3.2.2.2.1. Identificación de los factores limitantes

Para la definición de la secuencia constructiva del proyecto se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- Evaluación de las restricciones e integración con los sistemas actuales de transporte, principalmente la integración con la PLMB y Transmilenio. Con la PLMB se buscó la sinergia en las obras de la calle 72, así como con el proyecto del corredor verde de la carrera 7.
- Minimización de las afectaciones a la malla vial existente y por consiguiente a la movilidad, reduciendo los tiempos de intervención sobre calzadas y principalmente evitando intervenciones en vías arteriales como la Av. 68, donde actualmente se construye una nueva línea del sistema de Transmilenio, Av. Caracas por construcción de la PLMB, Av. Boyacá y Av. Ciudad de Cali, entre las más representativas.

- Reducción de los impactos sobre la calle 72, por donde transcurre aproximadamente la mitad del recorrido de la L2MB.

Previo al inicio de las obras deberá contarse con al menos la siguiente información:

- Permisos y licencias de construcción
- Investigaciones y estudios geotécnicos
- Gestión y adquisición de predios para permitir la liberación de las áreas de trabajo, principalmente en la zona de patio-taller, áreas de infraestructura temporal para construcción de dovelas y estación 10 (más cercana al pozo de entrada de la tuneladora).
- Inicio anticipado de los diseños de detalle para construcción; patio-taller y túnel. Los restantes se desarrollarán de forma paralela con el avance de las obras en concordancia con el programa de construcción.
- Disponibilidad de la información de las obras construidas o en construcción de la PLMB, principalmente la integración e interferencias en la calle 72 con Av. Caracas.

3.2.2.2.2. Estrategia constructiva

Para el logro de los tiempos previstos se requiere establecer distintos horarios de trabajo. En términos generales, se contempla un calendario de seis días a la semana, de lunes a sábado, con uno o dos turnos al día. Para las actividades críticas como el túnel en todos sus componentes (pozos, excavaciones, fabricación y suministro de dovelas y sistemas férreos), y para las obras con fundaciones y trabajos de grandes volúmenes como el relleno en el patio-taller, el horario será de siete días a la semana durante las 24 horas del día, con tres turnos al día.

Así mismo, se requiere tener frentes simultáneos para reducir los impactos en la movilidad e intervenciones en la malla vial. Entre los principales frentes de intervención se encuentra el patio-taller, túnel, viaducto, sistemas ferroviarios y grupo de estaciones, donde se incluye el manejo y traslado de interferencia de redes de servicios públicos, recuperación y renovación urbanística, espacio público e instalaciones ferroviarias internas.

Los rendimientos empleados para cada actividad corresponderán con la cantidad de obra a ser ejecutada por un recurso humano determinado. Dependiendo de la necesidad y requerimientos de la obra, así como del espacio y área de trabajo, se podrá disponer para una misma actividad varios grupos de trabajos simultáneos.

Como actividades relevantes para la construcción de las obras a ser desarrolladas de forma prioritaria; se tiene la etapa de diseños de detalle a cargo del constructor seleccionado, para lo cual se ha previsto como prioridad alta, el patio-taller por la magnitud de las obras allí requeridas, que va desde la adecuación del terreno hasta la disponibilidad temprana de estructuras y equipo ferroviario para poder adelantar las pruebas del primer tren, que a su vez servirá para la definición y ajustes finales para la liberación de la fabricación de las demás unidades requeridas para la operación de la línea.

En igual orden de importancia están los diseños del túnel, que terminan definiendo los requerimientos para la fabricación y suministro de la máquina tuneladora, equipo que por sus características particulares, especificidad y condiciones de utilización, demanda tiempos significativos para la fabricación (mínimo 12

meses), así como los tiempos para su transporte, ensamblaje y verificaciones antes de la puesta en operación para realizar los trabajos de excavación.

Asociado a la tuneladora, se tiene la zona logística que demanda un área importante para la instalación y desarrollo de infraestructura para construcción, entre las que se encuentran la fábrica de dovelas, instalación que requiere un número considerable de puente grúas, moldes metálicos para dovelas, hornos de curado del concreto, bodegas y áreas de acopio, entre otros servicios (Fotografía 7).



Fotografía 7. Tipo de equipos e instalaciones requeridos para la planta de dovelas (planta de dovelas línea 2 metro Sao Paulo actualmente en construcción)
Fuente: UT MOVIUS 2022

Para los trabajos complementarios al túnel, viaducto y estaciones se prevé la disposición de infraestructura para construcción correspondiente a sitios de acopio de material de excavación y agregados, bodegas, comedores, vestuarios, baños, instalaciones de servicios públicos, oficinas técnicas y centros de atención al público por cada frente de trabajo (véase numeral [1.2.5. Infraestructura asociada al proyecto](#)). Con esta infraestructura se busca atender de manera eficiente y oportuna los requerimientos del proyecto y disminuir

los impactos sobre la comunidad y la infraestructura existente, redundando en menor cantidad y tiempo los desvíos de tráfico.

Debido a la disponibilidad en la ciudad de varias empresas proveedoras de concreto convencional y al hecho de que la obra es un corredor longitudinal y dinámico a lo largo del trazado de la línea férrea con diferentes frentes de obra, se prevé que el suministro de concreto se realice mediante camiones mezcladores de concreto premezclado certificado pertenecientes a las mencionadas empresas. Para el componente de agregados pétreos y materiales de relleno, el suministro se hará desde las fuentes de material cercanas a la ciudad de Bogotá, las cuales deberán contar con las debidas licencias ambientales y de explotación minera.

Igualmente, para la disposición del material sobrante de las excavaciones y demoliciones del proyecto, los sitios corresponderán a los autorizados en su momento por las autoridades competentes, los cuales deberán contar con las respectivas licencias. Así mismo, se dispondrán las medidas y planes necesarios para el aprovechamiento de los residuos de construcción.

Para el suministro de asfalto existen plantas localizadas en los municipios aledaños a Bogotá, con facilidades de acceso a las materias primas. Las zonas empleadas para los campamentos y áreas de operación estarán debidamente delimitadas, protegidas y señalizadas para evitar accidentes e ingreso de personal no autorizado, garantizando la seguridad tanto de los transeúntes como del personal operativo. Estas condiciones igualmente aplicarán para las áreas donde se estén realizando las obras. Para los servicios públicos de agua, alcantarillado y luz, el constructor usará las redes existentes de la ciudad con la correspondiente retribución económica asociada al consumo.

3.2.2.2.3. *Secuencia de los trabajos*

Para el desarrollo de los trabajos se han previsto distintos frentes simultáneos; precedidos por los diseños de detalle y construcción de infraestructura para construcción.

- **Frente de trabajo de la tuneladora.** Punto de partida que abarca todas las obras e infraestructura para el montaje de la EPB y pozo de entrada.
- **Frente patio-taller:** Las obras de adecuación del patio-taller demandan tiempos significativos, por lo que será necesario iniciarlos de manera anticipada a la terminación de los demás diseños.
- **Frentes estaciones subterráneas.** Se prevén cuatro grandes grupos de trabajo:
 - Grupo 1, estaciones 10 y 9
 - Grupo 2, estaciones 8, 7 y 6
 - Grupo 3, estaciones 5, 4 y 3
 - Grupo 4, estaciones 2 y 1

Dichos grupos estarán desplazados en el tiempo unos de otros; sin embargo, es posible que en alguna ventana de tiempo se presenten trabajos similares simultáneamente en varios grupos de estaciones. La premisa para el desarrollo de los trabajos en las estaciones está condicionada por la necesidad de liberar el área inferior de las mismas para el paso de la tuneladora en el menor tiempo posible, procurando los mejores rendimientos en el túnel al ser la actividad crítica. En este sentido, será necesario adelantar de manera anticipada la excavación de la estación 10. Para el logro de estos objetivos será necesario contar con los predios de manera oportuna.

- **Frente traslado de redes.** Este frente será transversal a todo el proyecto y propenderá por liberar de forma oportuna las áreas de estaciones y principalmente la malla vial que será afectada, con el propósito de restaurar el servicio en el menor tiempo posible.
- **Frente viaducto.** Cubrirá las necesidades del tramo elevado entre el pozo de entrada y el patio-taller.
- **Frente sistemas férreos.** Cubrirá todos los trabajos de material rodante y sistemas férreos. Si bien la mayor actividad ocurrirá después de la terminación de las obras civiles principales y durante todo el tiempo de pruebas y puesta en marcha, se prevé que se adelanten trabajos previos de diferentes disciplinas, como las relacionadas con las instalaciones eléctricas y de potencia.
- **Frente urbanismo y readecuación vía.** Frente previsto para atender toda la renovación urbanística en las zonas de las estaciones, donde se tiene previsto la adquisición predial de manzanas completas, así como la recuperación de la malla vial secundaria.

Con la definición de los anteriores frentes, la secuencia constructiva comprende varias líneas generales de trabajo. Estas son indicativas puesto que el desarrollo del proyecto, a cargo del constructor, debe integrar y armonizar cada componente de forma eficiente y eficaz para obtener el menor tiempo constructivo y reducir los impactos:

- **Línea de trabajo 1.** Comprende los diseños de detalle del túnel, lo cual permite liberar la adquisición de la máquina tuneladora; fabricación, suministro transporte y montaje en el área logística cerca al patio-taller. Por lo tanto, en dicha área se deberán adelantar las adecuaciones pertinentes y construcción de la fábrica de dovelas. Seguidamente al montaje de la tuneladora se iniciará la excavación del túnel, previa liberación del pozo de entrada con sus respectivas previsiones de manejo de desvíos y adecuación de áreas aledañas. Como condición relevante, se tendrá la construcción de la estructura subterránea de la estación 10 para permitir el tránsito de la tuneladora por el cuerpo de la estación en el menor tiempo posible. Esta secuencia se repetirá a lo largo de toda la línea hasta la estación 1, y finalmente hasta el pozo de salida.

Terminados los trabajos de excavación y sostenimiento del túnel se iniciarán los trabajos de la plataforma ferroviaria con la colocación de rellenos e instalación de la superestructura. Simultáneamente, se irá desarrollando la solicitud de fabricación de todos los sistemas ferroviarios y material rodante, para su posterior instalación y pruebas de sistemas por separado. Para finalmente contar con toda la infraestructura necesaria para adelantar las pruebas de integración y marcha blanca.

- **Línea de trabajo 2.** Corresponde a los diseños de detalle del patio-taller, iniciando de forma prioritaria con la adecuación del terreno, el cual demanda trabajos de rellenos, mejoramiento del suelo, instrumentación, pilotaje, adecuación pondaje, entre otros trabajos de magnitudes significativas en cantidades y tiempos de ejecución, lo cual demandará la adecuación de las vías de acceso y control de tráfico correspondiente para reducir los impactos en la comunidad circundante. La liberación de la plataforma de trabajo en el patio-taller permitirá iniciar las obras civiles destinadas a disponer de la infraestructura y equipos necesarios para adelantar las pruebas y verificaciones del primer tren, hito relevante para la continuación de la fabricación de las demás unidades previstas para el proyecto. Finalmente, se continuará con la terminación de todas las obras civiles y montaje de equipos necesarios en el patio-taller, disponiendo los espacios e infraestructura necesaria para el recibo y prueba de la totalidad del material rodante.
- **Línea de trabajo 3.** Abarca todas las estaciones subterráneas, iniciando con los respectivos diseños de detalle, continuando con la liberación del área de trabajo de todas las interferencias posibles de redes e infraestructura, así como la implementación de los respectivos planes de manejo de tráfico y acceso.

Liberada el área de cada estación, se dará inicio a la construcción de las pantallas y excavación del recinto conformado por las mismas, trabajos que se irán adelantando con la construcción de la estructura interna principal (vigas y placas en las áreas que así sea viable). Se resalta que en los tramos de las estaciones que afecten la malla vial existente se adelantará la recuperación de la estructura de pavimento tan pronto como sea posible para disminuir los tiempos de cierre y desvíos.

La terminación de la excavación hasta el nivel inferior de la estación permitirá el paso de la máquina tuneladora. Por lo tanto, los trabajos en el cuerpo de la estación se centrarán en el nivel de mezanine superior mientras se libera el nivel de andén, en razón de que todo el material sobrante de excavación y el suministro de dovelas al frente de excavación se realizará por el tramo de túnel excavado desde el área logística; condición que genera restricciones constructivas.

Simultáneamente, liberado el nivel de acceso a la estación se podrá terminar los trabajos de recuperación del espacio público y malla vial circundante, así como el restablecimiento definitivo de redes de servicios en caso de que se requiera. En algunos casos de recuperación de malla vial existente y/o nueva por implantar, se ejecutará de forma que afecte la movilidad vehicular el menor tiempo posible.

3.2.2.3. Actividades de desmantelamiento de instalaciones temporales

Terminada la fase de construcción, y a medida que se vaya terminando la operación de las instalaciones temporales, se considera el desmantelamiento de las obras provisionales tales como: vías industriales, algunos campamentos y zonas de acopio de material.

A continuación se relacionan las actividades generales correspondientes a esta etapa del cierre:

- Señalización

Las áreas donde se realicen los trabajos de desmantelamiento, serán señalizadas y delimitadas, prohibiendo el paso al personal ajeno a estas actividades, como una medida de prevención para evitar accidentes. La señalización deben ser de fácil comprensión y estar ubicados a una altura que permita su visibilidad, deberán indicar las limitaciones de uso y la clase de riesgo que se corre al utilizar o acercarse a los sitios. La implementación de estas señales involucra labores de mantenimiento como limpieza, pintura, reparación, reubicación o reemplazo. Ésta señalización deberá ser de carácter preventiva, reglamentaria e informativa.

- Desmantelamiento

Una vez terminadas las obras, el campamento se debe desmontar y desmantelar, de tal forma que los materiales resultantes se deben clasificar, para retirarlos y disponerlos adecuadamente. Previo desarrollo de la actividad, el Contratista presentará a la Interventoría para su aprobación (30 días antes de efectuar el desmantelamiento) el programa para el desarrollo del desmantelamiento de campamentos e instalaciones temporales.

De acuerdo a la ubicación propuesta para el campamento en zonas de intervención del proyecto, una vez desmontado, el espacio será integrado al diseño paisajístico del proyecto. Se hará remoción de cualquier volumen de suelo que evidencie contaminación; igualmente se hará remoción y se eliminarán restos de escombros, cemento fraguado, metales, sustancias peligrosas de cualquier tipo, equipos, repuestos, etc., de manera que el sitio quede en mejores condiciones de limpieza que cuando se inició la operación.

De todas formas se tendrán en cuenta las siguientes acciones:

- Una vez se terminen las obras de construcción se deberá dismantelar el campamento y recuperar la zona intervenida para dejarla igual o en mejores condiciones a como se encontró.
- Para sitios de almacenamiento de combustible deberá cumplir con los lineamientos estipulados en el PMA 10.1.3.11. Programa de manejo de aceites usados.
- Todas aquellas obras de infraestructura o redes de servicio usadas deberán ser desmontadas.
- Los residuos provenientes de las demoliciones para el dismantelamiento del campamento deben cumplir con el proyecto de manejo y disposición final de escombros, establecidos en los respectivos planes de manejo.

3.2.2.4. Cierre y salvamento

El cierre y salvamento, solo aplica para instalaciones temporales, dado que este proyecto no tiene proceso de reversión directa.

3.2.2.5. Cronograma de ejecución del proyecto

En la Figura 9 se presenta el cronograma general de la construcción de las obras de la L2MB. El tiempo total previsto para la implementación de las mismas es de 96 meses, sin incluir las etapas previas de licitación, selección del constructor y formalización de la contratación, así como la etapa de implementación y operación:

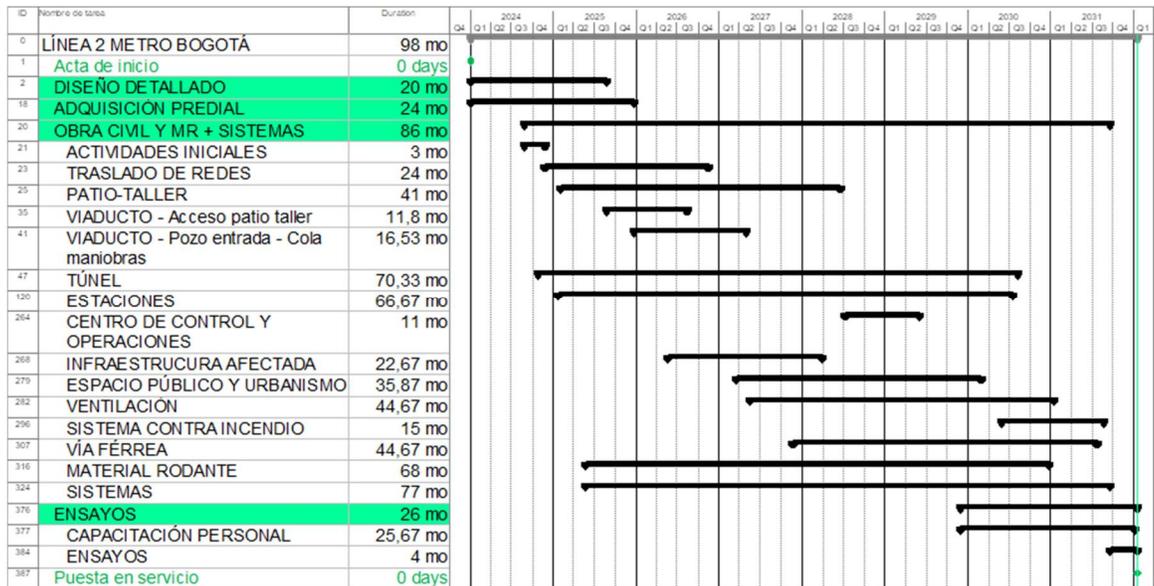


Figura 9. Cronograma general de construcción de las obras de la L2MB

Fuente: UT MOVIOUS 2022

La ruta crítica del cronograma (Figura 10) lo conforman los diseños de detalle (túnel) fabricación y suministro de la máquina tuneladora, excavación del túnel propiamente dicho (siendo fundamental la construcción

temprana de la estación más cercana al pozo de entrada), sistemas ferroviarios y finalmente pruebas de integración y marcha blanca.

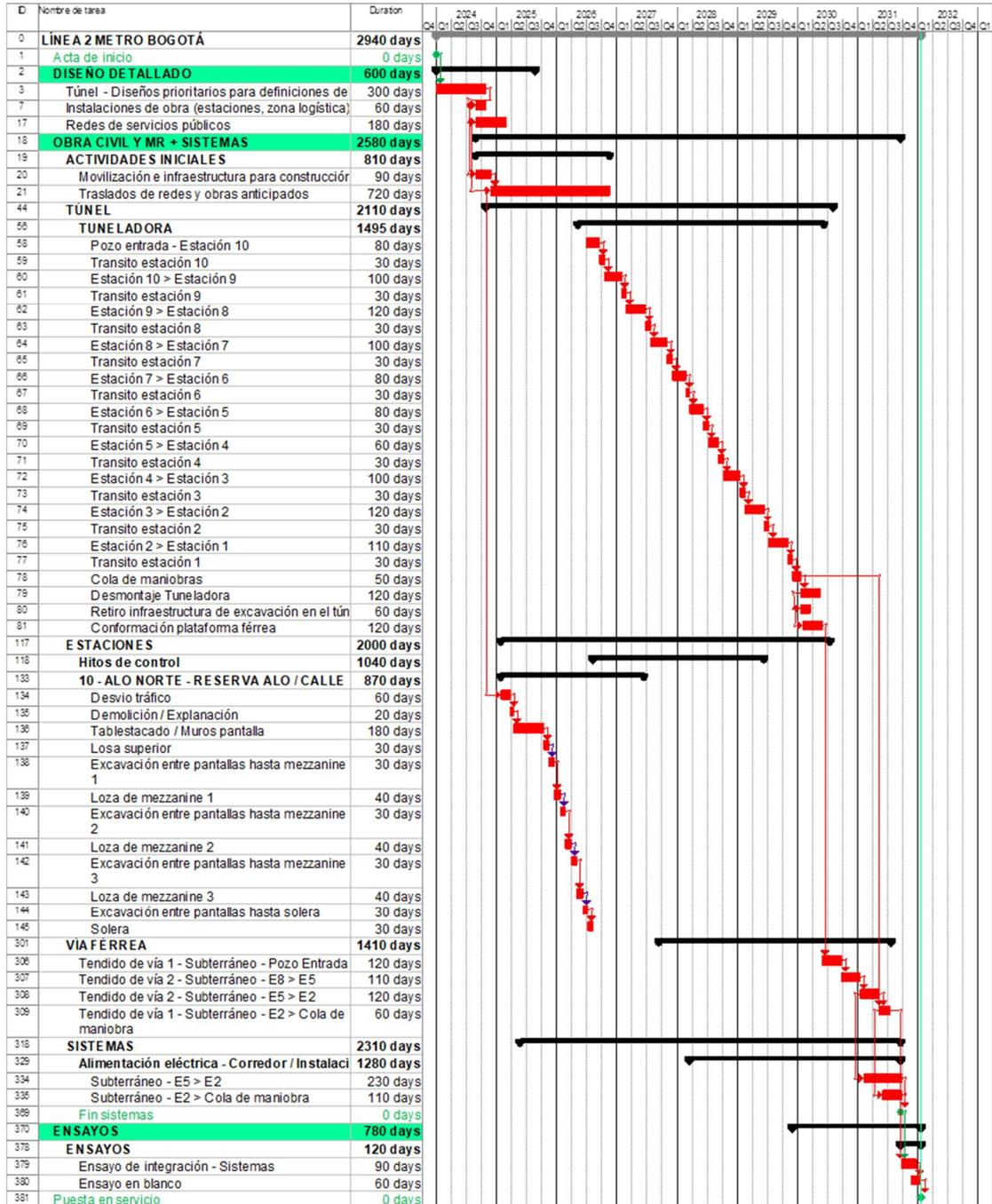


Figura 10. Ruta crítica cronograma de construcción
Fuente: Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3. Diseño del proyecto

3.2.3.1. Trazado y características geométricas del proyecto

3.2.3.1.1. Trazado horizontal

La L2MB empieza en el eje de la calle 72 en aproximaciones de la carrera 9 en dirección occidente, con 473 m de recta hacia el cruce con la Av. Caracas. En ese tramo se desarrolla la cola de maniobras.

A partir del K0+473, con una curva (C1) de 500 m de radio, el trazado sale de eje hacia norte para cruzar dos manzanas en recta de 300 m, para permitir la inserción de la Estación E1.

El alineamiento bajo la manzana nor-oriental evita la construcción de la estación sobre la calle 72, lo cual obligaría a cerrar el tránsito vehicular en la calle 72 entre 9 y 12 meses, y también a sacar de servicio el Deprimido, que por entonces ya estaría operando.



Figura 11. Trazado horizontal Estación E1

Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir del K0+935 el trazado sigue en curva (C2) de radio 700,0 m y en recta de 708,0 m hacia el oriente, para cruzar la calle 72 cerca de la Av. NQS; luego se dispuso una curva (C3) de radio 550 m para posicionar el eje de la vía al sur y en paralelo a la calle 72. La Estación E2 NQS se inserta sobre la manzana al sur de la calle 72 para evitar que el túnel encuentre las fundaciones del puente de la calle 72 sobre la Av. NQS.



Figura 12. Trazado horizontal Estaciones E1 y E2
Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir de la Estación 2, el trazado sigue en recta hasta el K2+376 y luego parte en curva (C4) de 400 m de radio para buscar el eje de la calle 72a. Después hace otra curva (C5) de 400 m de radio y sigue en recta por más 860 m hasta una curva (C6) de 850 m de radio hacia el cruce con la Av. 68. La Estación E3 - Av. 68 se ubica bajo un distribuidor vial.

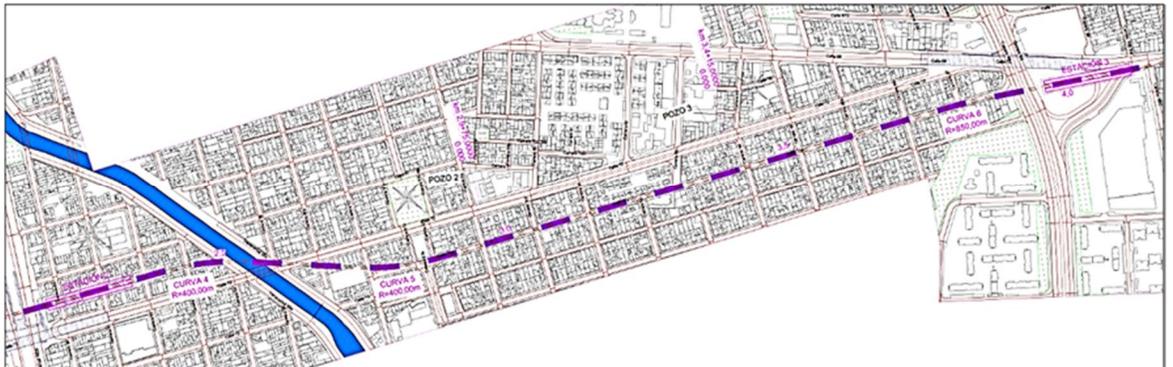


Figura 13. Trazado horizontal Estaciones E2 y E3
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E3 y E4 se tiene un tramo en recta de 1300 m (con solamente dos curvas (C7 y C8) de radio 4.000 m para ajuste) donde el trazado se ubica bajo las manzanas al sur de la calle 72. La Estación E4 Boyacá se inserta sobre una manzana al sur de la calle 72 para evitar que el túnel encuentre las fundaciones del puente de la calle 72 sobre la Av. Boyacá.

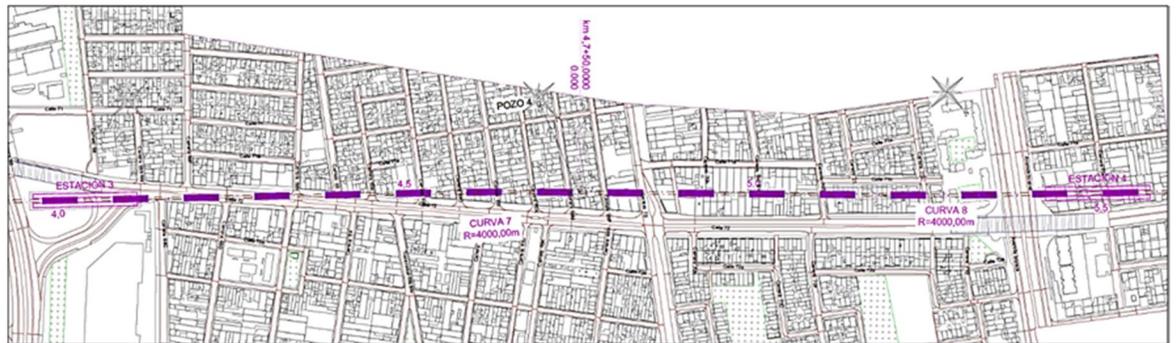


Figura 14. Trazado horizontal Estaciones E3 y E4
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E4 y E5 el trazado recupera el eje de la calle 72 con una curva (C9) de radio 1.000 m para volver a salir a partir del K6+002 con leve curva (C10) de radio 850 m hacia norte, para garantizar que el eje del túnel cruce las manzanas al norte de la calle 72, con una recta de 417 m donde se ubica la Estación E5 Av. Ciudad de Cali.

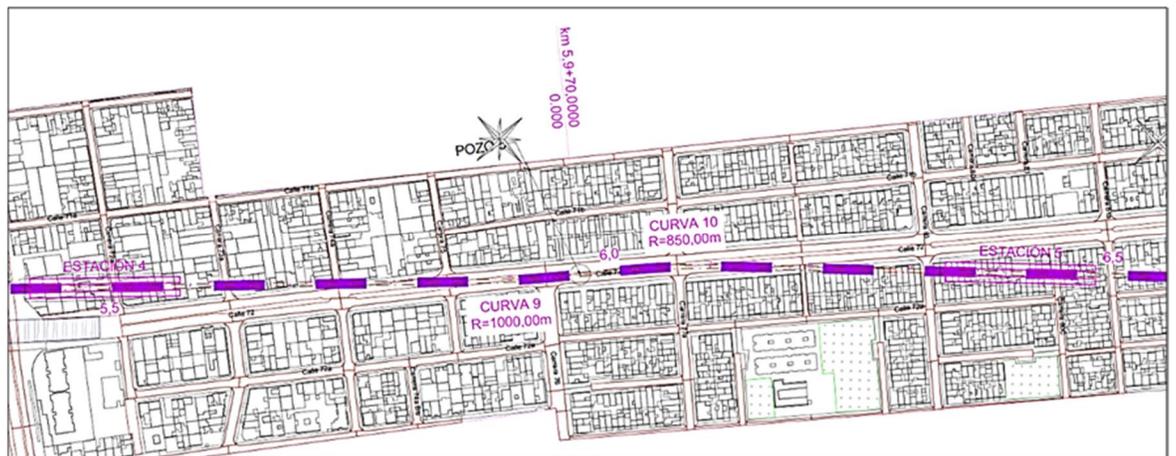


Figura 15. Trazado horizontal Estaciones E4 y E5
Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir del K6+549 se tiene una curva (C11) acentuada de radio 400 m hacia el norte que permite al trazado buscar el eje paralelo de la Av. Ciudad de Cali hacia el norte, sobre las manzanas al oriente de la avenida. La Estación E6 Calle 80 se inserta sobre la manzana al oriente de la Av. Ciudad de Cali para evitar que el túnel encuentre las fundaciones del puente sobre la calle 80.

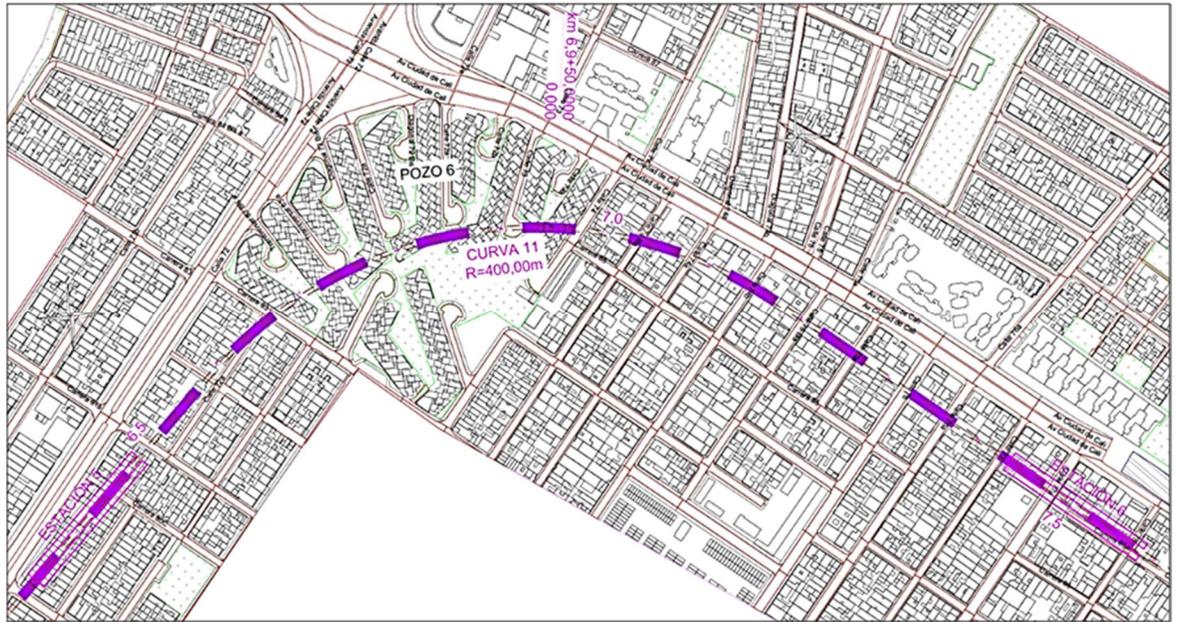


Figura 16. Trazado horizontal Estaciones E5 y E6
Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir de las Estaciones E6 y E7 el trazado del túnel sigue por 1.147 m hasta una curva (12) de radio 850 m, prácticamente en paralelo al eje de la Av. Ciudad de Cali bajo las manzanas localizadas al oriente del eje. La Estación E7 - Carrera 91 se inserta sobre la manzana al oriente de la Av. Ciudad de Cali para evitar que el túnel de vía encuentre las fundaciones del puente sobre el río Arzobispo.

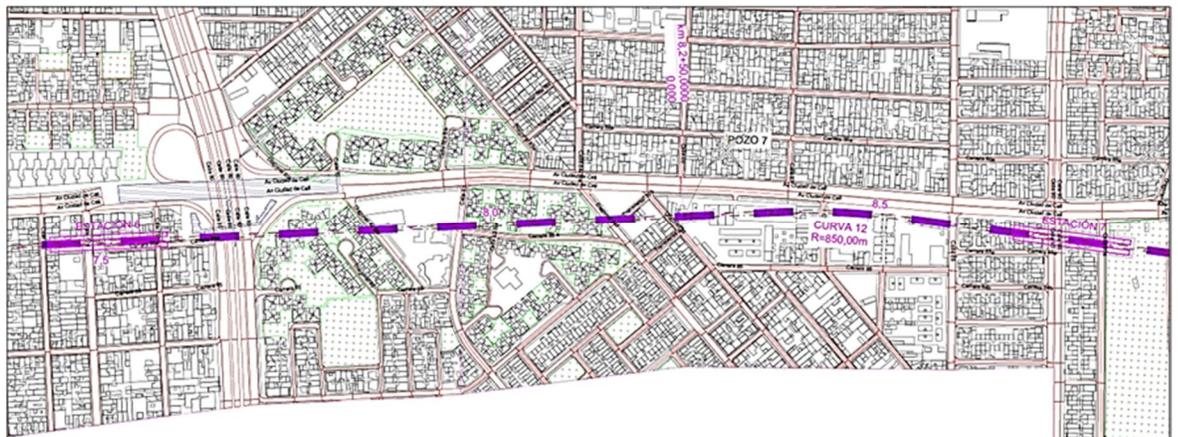


Figura 17. Trazado horizontal Estaciones E6 y E7
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E7 y E8 el trazado conecta los dos lados del río con una extensa curva (C13) 512 m de longitud y 400 m de radio hacia el noroeste, pasando bajo el campo de golf del Club Los Lagartos y conectando al norte del eje de la calle 127 en una recta de 478 m. Sigue luego una curva de 425 m de radio (C14) y una recta de 170 m a partir del K10+264 que permite la ubicación de la Estación E8 – Humedal en las manzanas al norte de la calle 127 entre las carreras 93c y 95.

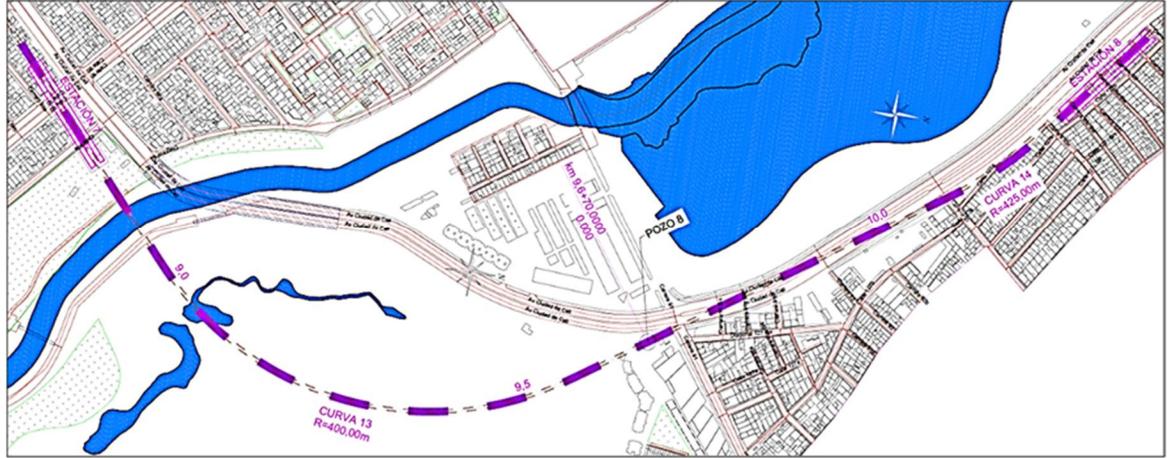


Figura 18. Trazado horizontal Estaciones E7 y E8
Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir de la Estación E8 – Humedal sigue una curva (C15) de radio 425 m, y se continúa en recta hacia el norte para pasar bajo el brazo del Humedal del Juan Amarillo al occidente del puente allí localizado, evitando sus fundaciones.

Enseguida se tiene una curva (C16) de radio 550 m hacia el norte que permite que el trazado se ubique en el eje del predio de la ALO, donde se encuentra la Estación E9 a partir del K11+840.

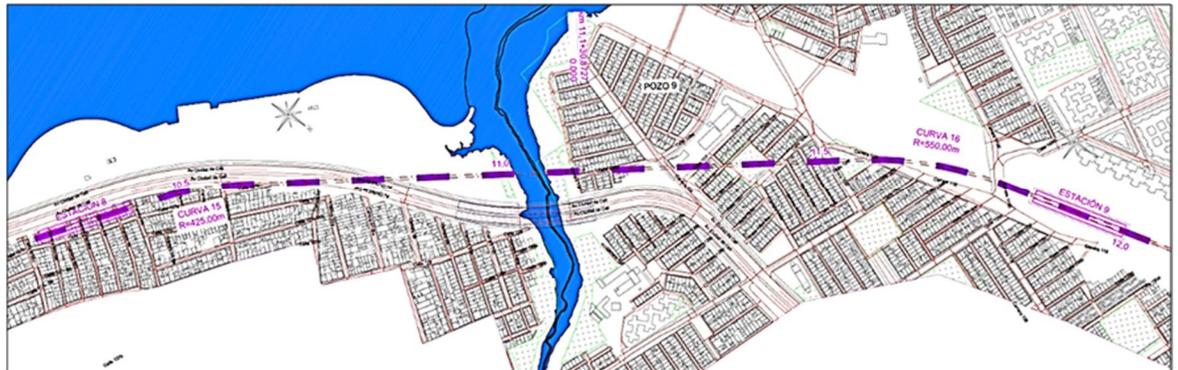


Figura 19. Trazado horizontal Estaciones E8 y E9
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E9 y E10 el trazado sigue prácticamente en recta sobre 1150 m en el eje del predio de la ALO, con un ajuste en curva (C17) de radio 800 m a partir del K12+966. La Estación E10 ALO Norte se ubica al sur del canal CAFAM.



Figura 20. Trazado horizontal Estaciones E9 y E10
Fuente: UT MOVIOUS 2022

A partir de la Estación E10 y hacia el norte, el trazado sigue en recta por más 480 m donde empieza una curva (C18) acentuada de 450 m de radio en dirección a occidente para permitir el alineamiento con el eje de la calle 145. El tramo de transición del túnel hacia el tramo elevado empieza en el K14+365 y se extiende hasta el K14+500. A partir de ese punto el trazado sigue su inserción urbana con estructura elevada con una curva (C19) de radio 850 m donde se encuentra la Estación E11. Posteriormente se tiene la cola de maniobras y el ingreso al patio-taller.



Figura 21. Trazado horizontal Estaciones E10 y E11
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.3.1.2. Alineamiento vertical

El perfil de la L2MB empieza en tramo de recta abajo el eje de la calle 72 en cercanías de la carrera 10 en dirección a occidente, con 980 m de extensión. En ese tramo en recta se desarrolla la cola de maniobras y la Estación E1 Caracas. El tope del riel se encuentra en la cota 2.526,88 msnm, con profundidad variable con respecto al terreno porque éste reduce su altura en sentido de oriente a occidente, es decir, hacia la derecha en la figura mostrada a continuación:

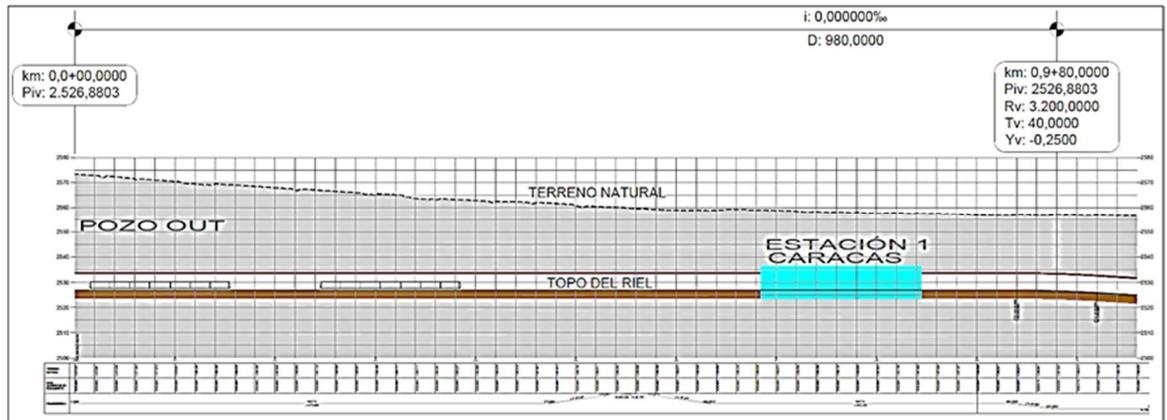


Figura 22. Perfil longitudinal Estación E1
Fuente: UT MOVIUS 2022

En el tramo en estación, el tope de riel se encuentra aproximadamente a 30 m de profundidad. Esa profundidad permite que el túnel pase por debajo del proyecto del Deprimido de la calle 72 (en construcción por parte del consorcio contratista de PLMB, véase numeral [1.2.1.1.3 Otra Infraestructura existente - Deprimido de la PLMB en Av. Caracas con calle 72](#)). La distancia intermedia entre el elemento estructural más profundo del Deprimido y la clave del túnel de L2MB es de 8,92 m, aproximadamente un diámetro del túnel.

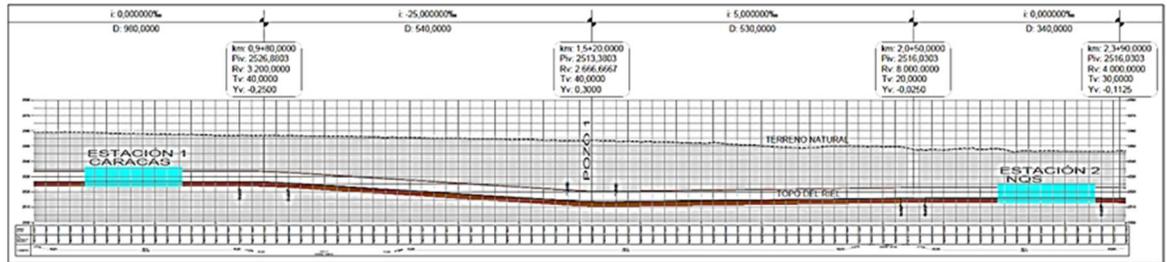


Figura 23. Perfil longitudinal Estaciones E1 y E2
Fuente: UT MOVIUS 2022

A partir del K0+940 empieza una curva vertical seguida de rampa de 2,5% bajando el TpR (Tope del Riel) hacia el nivel 2.513,7 msnm, para garantizar una travesía por debajo de predios privados a profundidad superior a 25 m sin afectar edificaciones y en condiciones seguras.

Continuando con el trazado en perfil, el mismo se eleva en rampa de 0,5% hasta nivel 2.516,1 msnm para encontrar la Estación E2 NQS, localizada a -30.0 m con respecto al terreno natural.

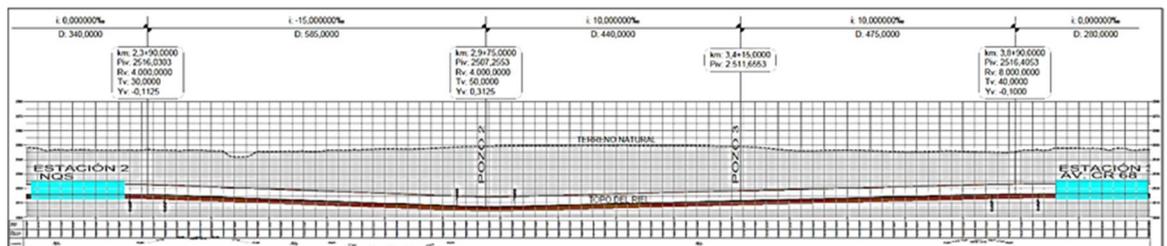


Figura 24. Perfil longitudinal Estaciones E2 y E3
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E2 y E3, el perfil vuelve a bajar en rampa de 1,5% para pasar por debajo de edificaciones y bajo el canal del río Arzobispo, y vuelve a subir en rampa de 1,0% hacia el nivel 2.523,9 msnm donde la Estación E3 – Carrera 68 se encuentra a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

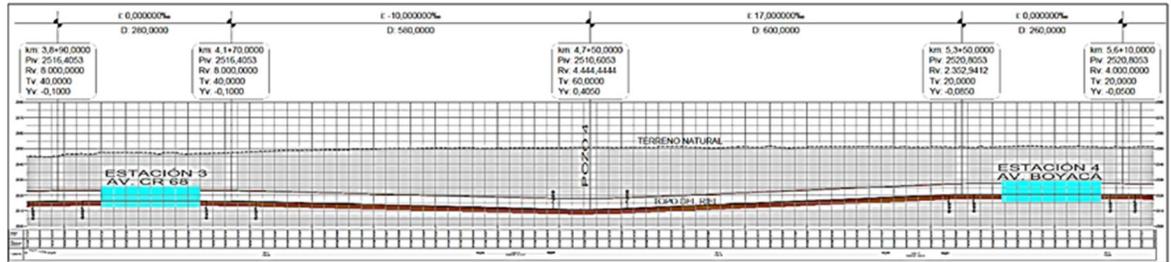


Figura 25. Perfil longitudinal Estaciones E3 y E4
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E3 y E4 el perfil vuelve a bajar en rampa de 2,0% para pasar abajo edificaciones y vuelve a subir en rampa de 1,2% hacia el nivel 2.519,6 msnm donde la Estación E4 – Boyacá se encuentra con tope del riel a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

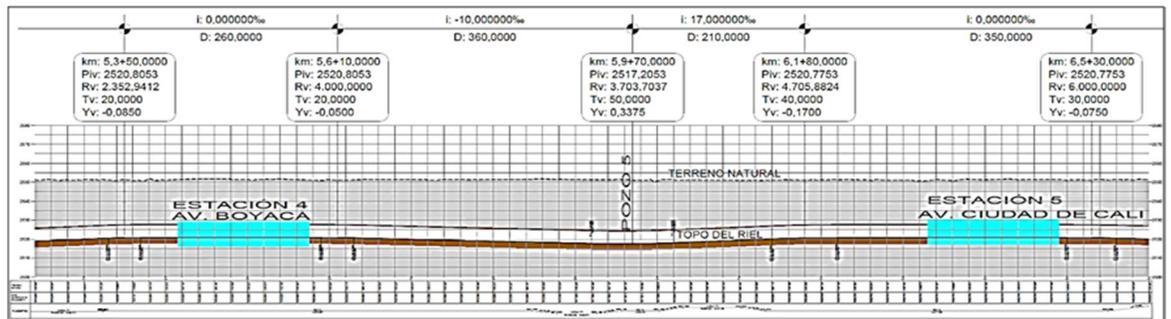


Figura 26. Perfil longitudinal Estaciones E4 y E5
Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E4 y E5 el perfil baja en rampa muy suave 0,5% para pasar bajo edificaciones y vuelve a subir en rampa de 2% hacia el nivel 2.521,5 msnm donde se encuentra la Estación E5 – Av. Ciudad de Cali, con un tope del riel a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

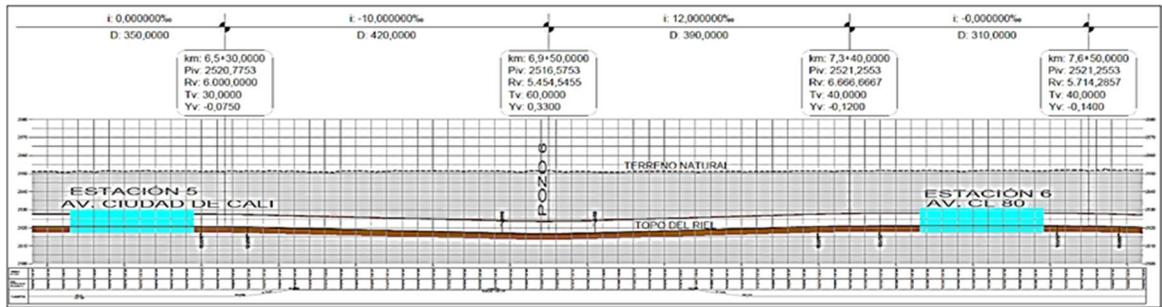


Figura 27. Perfil longitudinal Estaciones E5 y E6
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Entre las Estaciones E5 y E6 el perfil baja en rampa de 1,0% para pasar abajo edificaciones y vuelve a subir en rampa de 1,2% hacia el nivel 2.523,7 msnm donde se encuentra con la Estación E6 – Av. Calle 80 y un tope del riel a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

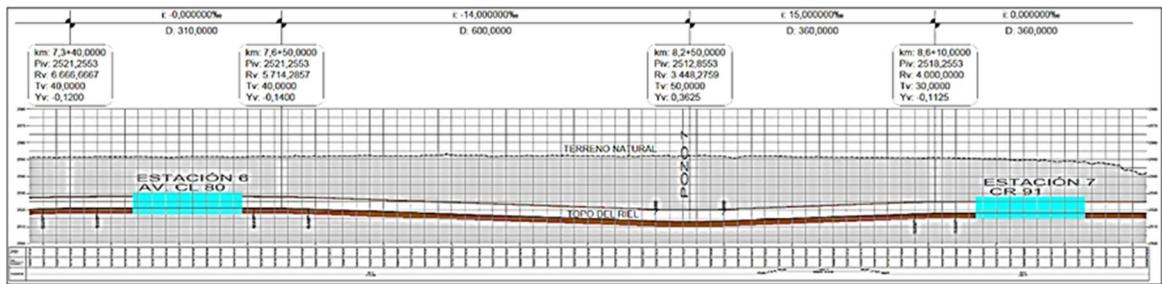


Figura 28. Perfil longitudinal Estaciones E6 y E7
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Entre las Estaciones E6 y E7 el perfil baja en rampa de 1,5% para pasar bajo edificaciones y vuelve a subir en rampa de 1,6% hacia el nivel 2.520,5 msnm, donde se encuentra con la Estación E7 – Carrera 91 de la Av. Ciudad de Cali con un tope del riel a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

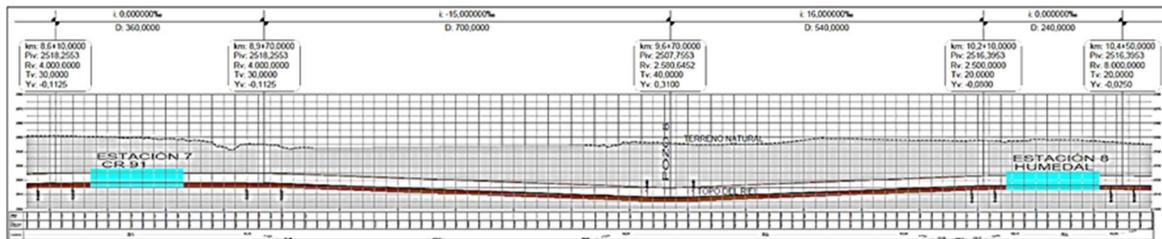


Figura 29. Perfil longitudinal Estaciones E7 y E8
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Entre las Estaciones E7 y E8 el perfil baja en rampa de 1,5% para pasar bajo del canal Salitre y vuelve a subir en rampa de 1,6% hacia el nivel 2.515,5 msnm, donde se encuentra con la Estación E8 – Humedal con un tope del riel a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

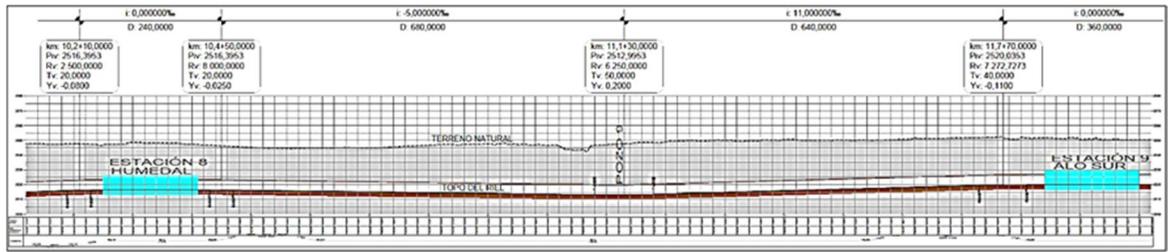


Figura 30. Perfil longitudinal Estaciones E8 y E9

Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E8 y E9 el perfil baja en rampa suave de 0,5% para pasar bajo el brazo del humedal del Juan Amarillo y vuelve a subir en rampa de 1,1% hacia el nivel 2.520,0 msnm donde se encuentra la Estación E9 – ALO Sur con un tope del riel a 30 m de profundidad con respecto al terreno natural.

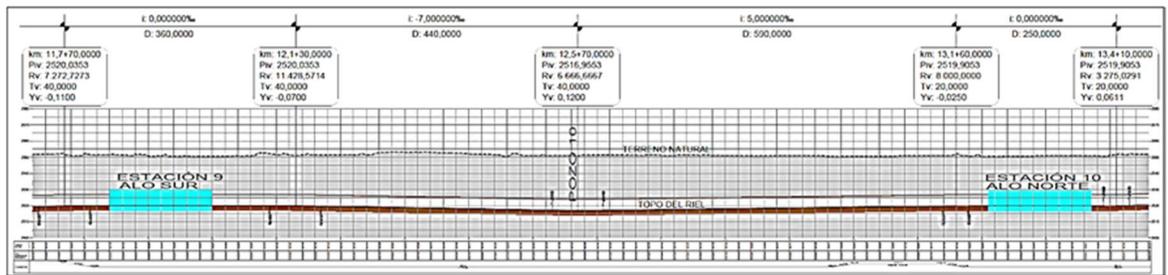


Figura 31. Perfil longitudinal Estaciones E9 y E10

Fuente: UT MOVIUS 2022

Entre las Estaciones E9 y E10 el perfil baja en rampa de 2% y vuelve a subir en rampa suave de 0,5% hacia el nivel 2.523,5 msnm, donde se encuentra la Estación E10 – ALO Norte con tope del riel a 28 m de profundidad con respecto al terreno natural.

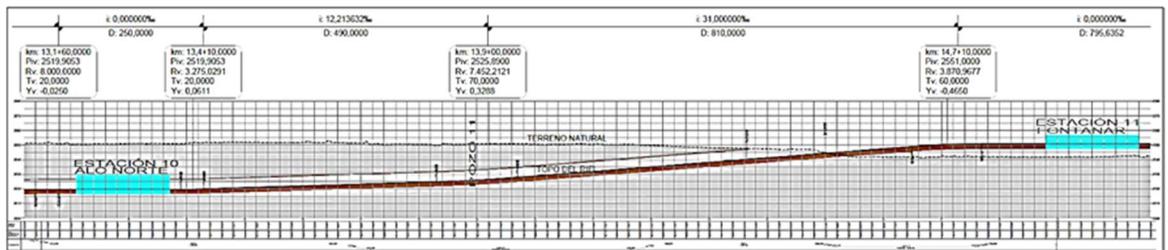


Figura 32. Perfil longitudinal Estaciones E10 y E11

Fuente: UT MOVIUS 2022

En el tramo entre las Estaciones E10 y E11 se desarrolla la transición del perfil subterráneo para elevado. La profundidad de la Estación E10 está condicionada por el cruce de túnel debajo del canal CAFAM, ubicado cerca de la estación. Una rampa de 1,2% se desarrolla por 460 m donde en el trazado horizontal se hace una curva acentuada de radio 400 m, hasta el K13+080. A partir de ese punto se realiza una transición para una rampa más acentuada con 3,1% que lleva el perfil del túnel hacia el tramo de transición entre las abscisas K14+300 y K14+500. El trazado sigue en rampa en tramo elevado hasta el K14+700, donde empieza tramo en recta de 735 m en cota 2.550,0 msnm, con altura de riel con respecto al terreno de 9 m. En ese tramo se ubican la Estación E11, la cola de maniobras y la salida para la vía de acceso al patio-taller.

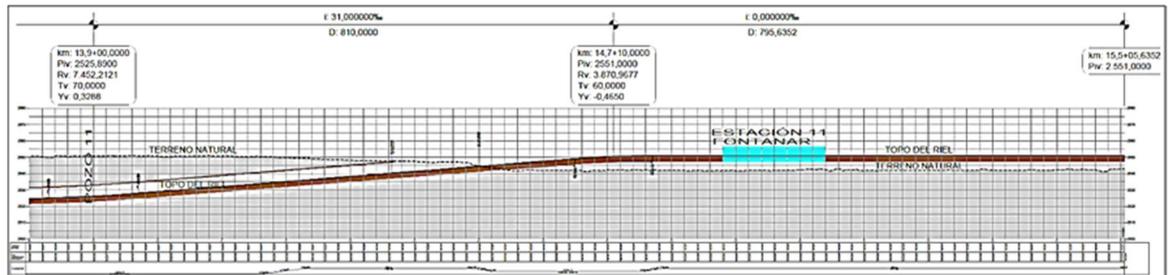


Figura 33. Perfil longitudinal Estación E11 y cola de maniobras
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.2. Derecho de vía

Se elaboró un estudio de las distancias mínimas de resguardo para permitir futuras construcciones en superficie en la periferia del túnel sin producir ningún tipo de afectación en el mismo, que arrojó las siguientes conclusiones:

1. Establecer una distancia mínima para delimitar construcciones futuras cercanas al túnel de la L2MB se traduce en una labor compleja por la cantidad de variables que intervienen, como el tipo y área de la edificación, profundidad, sistema de cimentación, sistema de contención y proceso constructivo. De igual forma, se depende de los tipos de suelos presentes en la zona de la obra específica y de la profundidad de implante del túnel en ese lugar, entre otros aspectos.
2. No se dispone de normas, reglamentaciones o restricciones particulares relacionadas con la definición de distancias de las edificaciones futuras a las paredes de un túnel férreo.
3. Se realizó un análisis para establecer los efectos que podría tener la construcción de una edificación común encima del túnel o en sus alrededores, para las condiciones de los suelos de la formación Sabana de Bogotá, y bajo las condiciones del túnel de la L2MB (profundidad promedio, diámetro y tipo de revestimiento). Se aclara que el análisis realizado partió de supuestos que pueden diferir para cada caso particular, donde incluso podrían existir variables no contempladas en la modelación, incluyendo efectos de procesos constructivos disímiles o consideraciones diferentes en los sistemas de apuntalamiento o fortificación de las excavaciones, que podrían inducir a valores mayores de deformaciones unitarias que las encontradas en los análisis realizados.
4. Para el caso hipotético planteado, y de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis antes mencionado, considerando además ciertas experiencias internacionales, se estima que **una distancia de 2 diámetros del túnel a una nueva edificación (aprox 20 m a lado y lado del eje del túnel para el caso de la L2MB) es un valor razonable y seguro.**
5. Por las razones anteriores, se opta por no establecer reglas estrictas y/o definitivas en cuanto a la delimitación de distancias entre las nuevas edificaciones y la pared exterior del túnel de la L2MB. Por el contrario, es recomendable que la EMB se reserve el derecho de decidir, en cada caso particular, sobre la solicitud de un privado para aceptar, o no, la construcción de una determinada obra, siendo el promotor o constructor de la misma el único responsable y quién necesariamente debe presentar a la EMB los análisis técnicos correspondientes junto con los análisis de riesgos, pólizas y seguros, entre otros.

3.2.3.3. Diagrama de masas (material de relleno y excavación)

El volumen de las excavaciones requeridas para la construcción de las estaciones subterráneas se estima en 1 541.015 metros cúbicos, los cuales incluyen la excavación superficial inicial, la excavación entre pantallas de las estaciones, la excavación de los módulos de acceso y accesos satelitales, y la excavación del paso con túnel sin zanja por la Avenida. 68 (Tabla 6).

Tabla 6. Excavaciones para la construcción de estaciones

Item		Volumen (m3)
1	EXCAVACIÓN SUPERFICIAL ESTACIONES	83.357
2	EXCAVACIÓN ENTRE PANTALLAS ESTACIONES	1.295.189
3	EXCAVACIÓN MÓDULOS DE ACCESO Y SATELITALES	159.301
4	EXCAVACIÓN PASO AV. 68	3.168
EXCAVACIÓN TOTAL ESTACIONES (m3)		1.541.015

Fuente: UT MOVIOUS 2022

El volumen de las excavaciones para la construcción del túnel se estima en 1.173.854 metros cúbicos, los cuales incluyen la excavación del túnel con tuneladora, la excavación entre pantallas para los pozos de entrada y salida, los pozos de ventilación, evacuación y bombeo, y las excavación para las galerías de interconexión con el túnel (Tabla 7).

Tabla 7. Excavaciones para la construcción del túnel

Item		Volumen (m3)
1	EXCAVACIÓN CON TUNELADORA	1.084.165
2	EXCAVACIÓN POZO DE ENTRADA	38.465
3	EXCAVACIÓN POZO DE SALIDA	15.411
4	EXCAVACIÓN POZOS DE VENTILACIÓN, EVACUACIÓN Y BOMBEO + GALERÍAS DE INTERCONEXIÓN	35.813
EXCAVACIÓN TOTAL TÚNEL (m3)		1.173.854

Fuente: UT MOVIOUS 2022

El volumen estimado para la excavación de las fundaciones de las pilas del viaducto es de 9 652 m³, y el de las fundaciones de la estación E11 de 2 549 m³

El volumen estimado para la excavación en la zona de patio taller es de 298.225 m³.

Los volúmenes estimados de excavación y relleno para las vías del proyecto son las siguientes (Tabla 8):

Tabla 8. Excavaciones y rellenos para la construcción de vías

Item		Excavación (m ³)	RellenoNO (m ³)
1	CALLE 145 E-W	23.130	716
2	CALLE 145 W-E	15.322	335
3	CALLE 145 RETORNO E-E	215	1
4	CALLE 144	2.914	134
5	CALLE 146	4.771	9
6	INGRESO A SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	150	1.410
7	INGRESO A PATIO TALLER Y VÍA INTERNA-SUR	212	1.363
8	VÍAS ADYACENTES A ESTACIONES	35.113	144
EXCAVACIÓN TOTAL VÍAS (m³)		81.827	4.112

Fuente: UT MOVIUS 2022

El relleno previsto en el patio-taller hasta la cota 2545,3 m.s.n.m. es de 998.251 m³

De acuerdo con los volúmenes anteriormente mencionados, el movimiento de tierras previsto para la totalidad de las obras del proyecto es el siguiente (Tabla 9).

Tabla 9. Resumen del movimiento de tierras previsto para el proyecto

Item	Volumen (m ³)
EXCAVACIONES	

Item		Volumen (m3)
1	EXCAVACIÓN ESTACIONES SUBTERRÁNEAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.541.015
2	EXCAVACIÓN TÚNEL Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.173.854
3	EXCAVACIÓN FUNDACIONES ESTACIÓN ELEVADA E11	2.549
4	EXCAVACIÓN FUNDACIONES VIADUCTO	9.652
5	EXCAVACIÓN PATIO TALLER	298.225
6	EXCAVACIÓN VÍAS	81.827
TOTAL EXCAVACIONES (m3)		3.107.122
RELLENOS		
1	RELLENOS PATIO TALLER	998.251
2	RELLENOS VÍAS	4.112
TOTAL RELLENOS (m3)		1.002.363

Fuente: UT MOVIUS 2022

Las características del material excavado en las estaciones, túnel, viaducto, vías y patio-taller, predominantemente arcilloso, no permitirán su utilización en el relleno del patio-taller, donde se requiere material seleccionado.

3.2.3.4. Área estimada de remoción de la vegetación y descapote

Para el caso de las estaciones únicamente se requerirá la remoción de vegetación y descapote en las Estaciones E9 y E10, localizadas en predios de la ALO. El área total de remoción estimada para las mismas es de 5 443 y 5 333 m² respectivamente.

Para la construcción de las instalaciones del patio-taller, incluyendo vías internas, el área estimada de remoción de vegetación y descapote es de 207.969 m²

El resumen del área total de remoción de vegetación y descapote prevista para la construcción del proyecto se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Resumen del área de remoción de vegetación y descapote prevista para el proyecto

Item		Área (m ²)
1	ESTACIÓN E9	5.443
2	ESTACIÓN E10	5.333
3	PATIO TALLER	207.969
TOTAL ÁREA DE REMOCIÓN Y DESCAPOTE (m²)		218.745

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.5. Velocidad de diseño del proyecto

El trazado geométrico de la L2MB tiene como principio de diseño la materialización de una línea rápida con más de 40 km/h de velocidad comercial aún en marcha tendida de diagrama operacional. La velocidad máxima de servicio (UTO) será de 80 km/h.

Lo anterior bajo el entendimiento de que la velocidad es uno de los factores más determinantes en el diseño de un sistema metro, por cuanto su mejora influye positivamente en la atraktividad comercial de la línea y por ende en los ingresos y posteriormente en la sostenibilidad del sistema.

En tal sentido, se han previsto radios mínimos de curvatura de 400 m de manera tal de minimizar cualquier impacto en la velocidad operacional.

3.2.3.6. Presentación de las secciones transversales de cada uno de los perfiles a lo largo del proyecto

3.2.3.6.1. Túnel

El túnel de la L2MB tendrá 10,45 m de diámetro externo y 9,65 m de diámetro interno y se revestirá con dovelas prefabricadas de 0,40 m de espesor. Se construirá a una profundidad variable entre 18,0 y 35,0 m desde superficie a la clave.

En la mayor parte de su recorrido se excavará en arcillas de alta plasticidad de depósitos de la Sabana de Bogotá, de origen lacustre, denominados Formación Sabana (Qta), y en aproximadamente 0,70 km se excavará en materiales mixtos, de depósitos aluviales y coluviales, cerca de la zona de piedemonte de los cerros Orientales, al oriente de la Av.Caracas.



La profundidad del túnel se condicionó a los siguientes aspectos:

- a) Paso seguro por debajo del deprimido de la Av. Caracas, el cual forma parte de las obras en construcción de la PLMB. El tramo de túnel hacia el oriente después de la Estación E1 se conforma para la cola de maniobras en un tramo recto y de pendiente horizontal.
- b) Profundidad de las estaciones, las cuales fueron dispuestas en tres niveles o pisos en profundidad (uno de ellos para instalación y operación de equipos), con miras a evitar afectaciones prediales en superficie puesto que se requeriría de mayores áreas para condicionar la edificación de equipamiento.
- c) Necesidad de construcción de pozos de evacuación, ventilación y bombeo, para lo cual es necesario darle una ligera pendiente al trazado desde las estaciones colindantes, lo cual también condiciona la profundidad del túnel.
- d) Paso seguro por debajo de la línea de la tubería de Tibitoc en la Av. Boyacá.
- e) Paso seguro y sin riesgos ecológicos en la zona del brazo del humedal Juan Amarillo.
- f) Asentamientos bajos en superficie, al disponerse de un túnel profundo, dadas las características de los suelos de la Formación Sabana.
- g) Por tales asentamientos bajos en superficie, reducción de compras prediales en un trazado que en buena parte de su recorrido cruza bajo edificaciones.

En la Figura 34 se presenta la sección transversal del túnel con el material rodante, además de los diferentes componentes para control, iluminación, relleno en la base, anillo de soporte / revestimiento con dovelas de concreto prefabricado y tolerancia constructiva, entre otros.

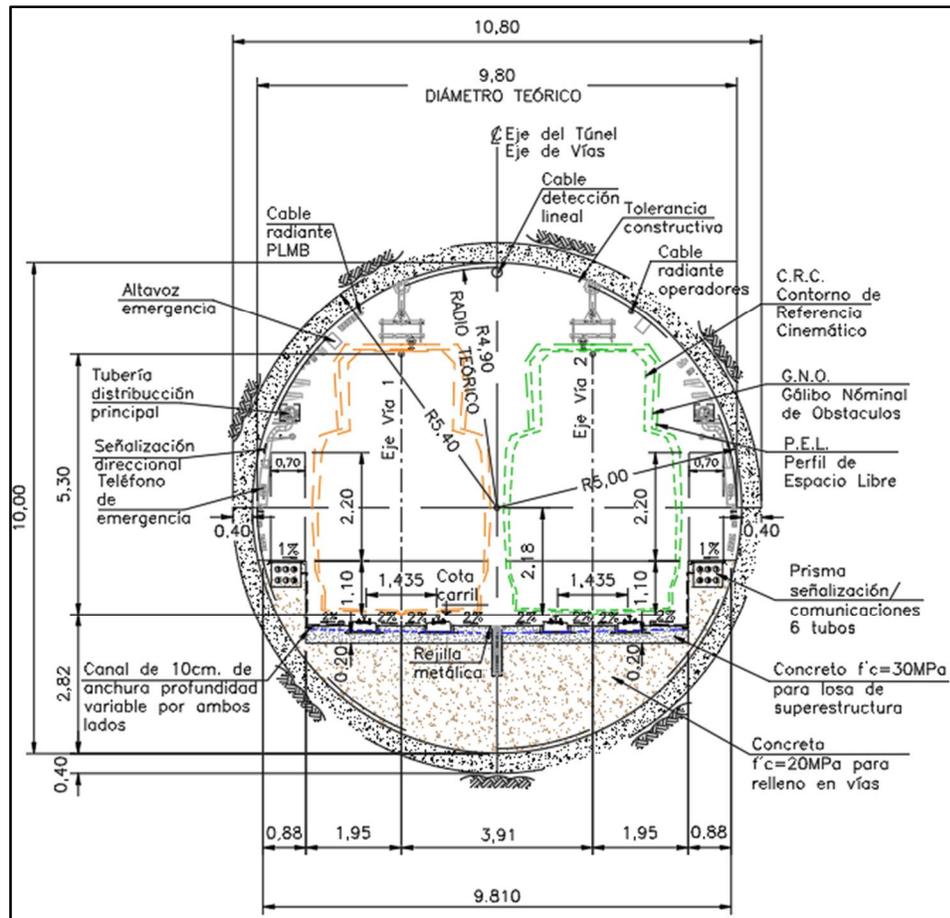


Figura 34. Sección constructiva del túnel con radio de curvatura de 400 m
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.6.2. Pozo de entrada

El pozo de entrada de la tuneladora servirá para el ensamble de la máquina y para el transporte de materiales al frente de excavación, incluyendo dovelas y diferentes clases de equipo. Así mismo, servirá para la extracción del material de suelo excavado y para el ingreso de los trabajadores al túnel.

El pozo de entrada consiste en una rampa descendente de acceso para la máquina EPB, que se localiza entre las abscisas K14+280 y K14+500. Tiene una longitud de 220 m y un ancho interno de 14,80 m. El sitio más profundo a nivel de riel se encuentra en el K14+280, a 15,62 m de la superficie. En este pozo se han previsto una serie de puntales de concreto en la parte superior y una tapa superior llegando al portal del túnel, así como una losa de fondo para soportar la línea férrea.

En la Figura 35 se aprecia la planta de implantación del pozo de entrada en la calle 145 o Av. Transversal de Suba. En los alrededores del mismo se han identificado edificaciones de hasta 6 pisos localizados a 28 m de distancia de las pantallas, y otros edificios menores de 3 pisos localizados a 11 m de distancia de las mismas.

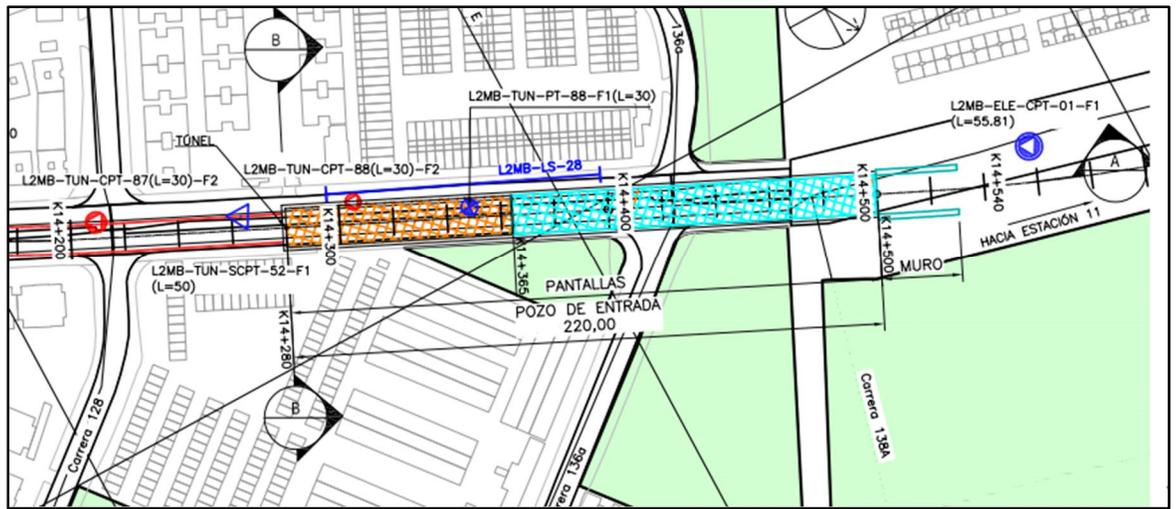


Figura 35. Planta de localización del pozo de entrada
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Figura 36 se presenta la sección transversal del pozo de entrada.

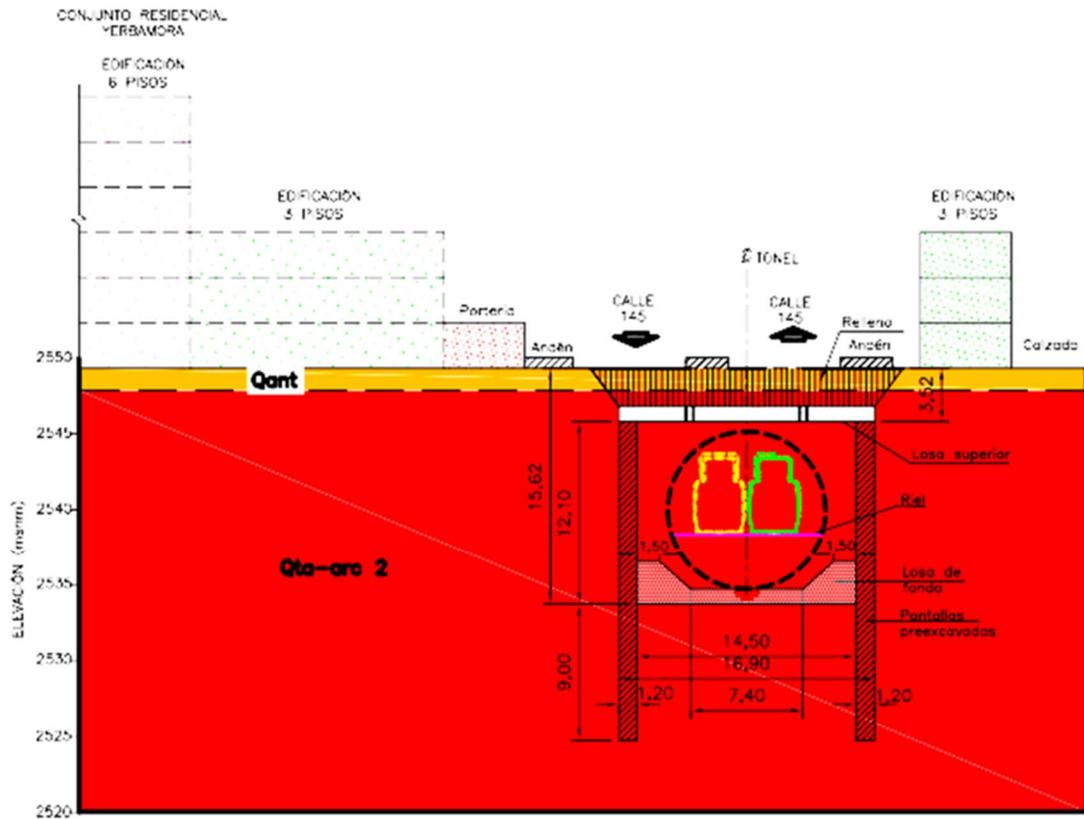


Figura 36. Sección transversal del pozo de entrada (a la izquierda, costado norte)
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.6.3. Pozo de salida

El pozo de salida servirá para el desmantelamiento y retiro de la máquina tuneladora.

Para su conformación se analizaron dos tipos de geometría diferentes. Una rectangular de 40 m de largo por 15 m de ancho, y una circular de 19,8 m de diámetro. Debido a la profundidad de esta estructura, se consideró conveniente optar por la geometría circular.

El eje del pozo de salida se localiza en la abscisa K0+009,9, a una profundidad de riel de 50,5 m. Tiene un diámetro interno de 19,8 m, uno externo de 20,2 m y una profundidad hasta el fondo del empotramiento promedio de 60,5 m. El pozo dispondrá de tapa superior y de una losa de fondo para alojar la línea férrea.

En la Figura 37 se aprecia la planta de implantación del pozo de salida. En el costado norte, a 28 m de distancia de las pantallas, se localiza un edificio de 15 pisos y en el costado sur, a 16 m de la pantalla, otro de 14 pisos

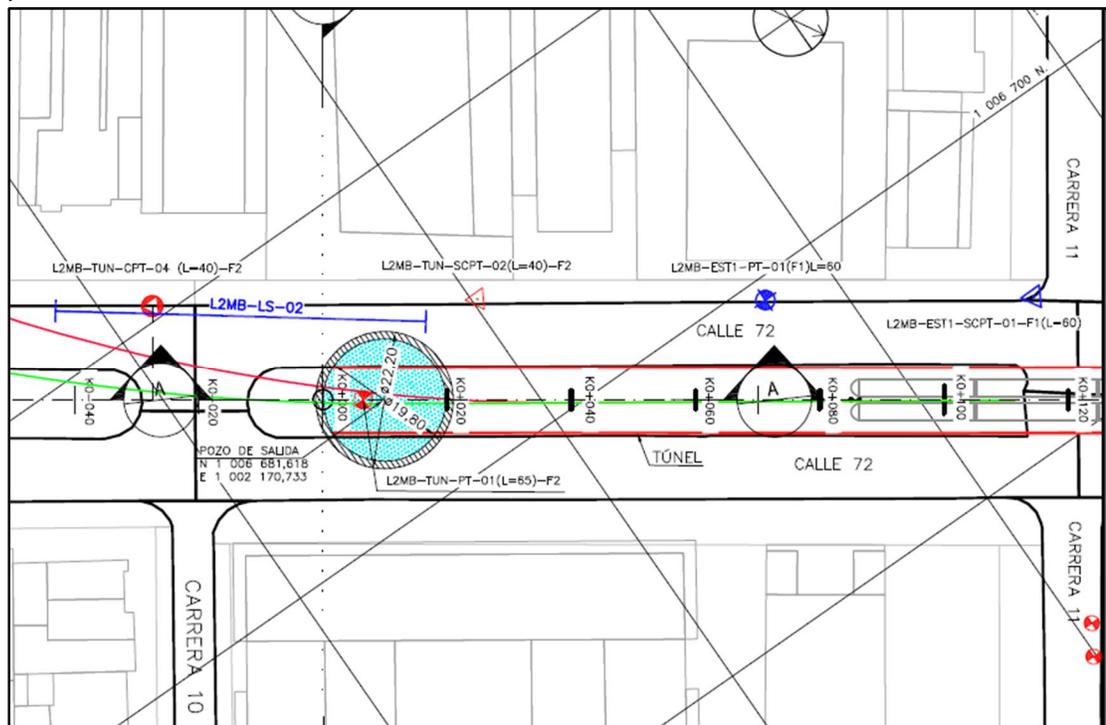


Figura 37. Planta de localización del pozo de salida
Fuente: UT MOVIOUS 2022

En la Figura 38 se presenta la sección transversal del pozo de salida.

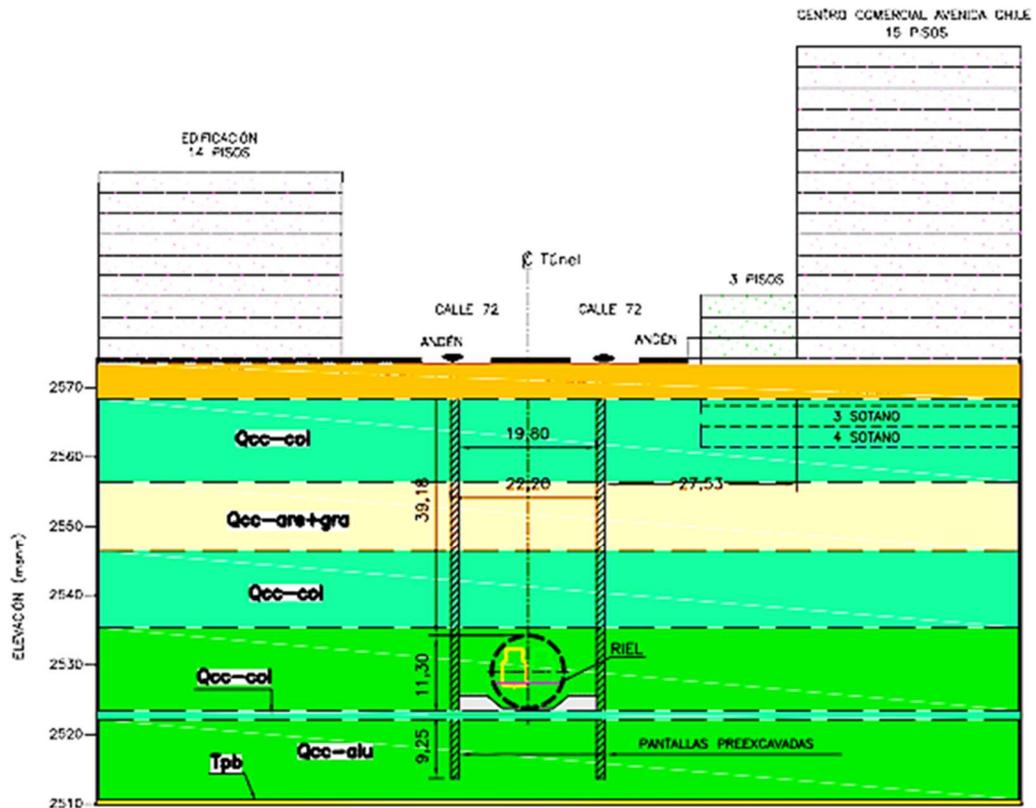


Figura 38. Sección transversal del pozo de salida (a la izquierda se localiza el costado sur)
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.6.4. Pozos de ventilación, evacuación y bombeo

El túnel dispondrá de 11 pozos de ventilación, evacuación y bombeo, 10 de ellos con una sección circular de diámetro interno útil de 10 m, y uno con 7 m de diámetro útil interno que no prestará función de ventilación. Estos pozos tendrán profundidades variables entre 29 y 46 m. Para satisfacer lo establecido en la norma NFPA 130, se ubicarán cada 760 m, a un costado de la línea del túnel bajo predios seleccionados provistos de áreas suficientes para su construcción, del orden de 500 m². Los pozos se conectarán con el túnel mediante galerías subhorizontales de 7,22 m de diámetro externo, de sección circular y longitud variable, la mayoría de ellos a una distancia aproximada de 5 m entre paredes externas del pozo y túnel.

Todos los pozos de evacuación, ventilación y bombeo serán construidos bajo espacios ocupados por predios privados. Los inmuebles privados afectados en superficie demandarán su compra o expropiación. En dichos predios se construirán edificaciones funcionales del sistema metro divididas en dos espacios: 1) Evacuación 2) Cuartos eléctricos y de transformadores. El espacio de evacuación se encuentra directamente sobre los pozos y el espacio de cuartos eléctricos y de transformadores se encuentra contiguo al pozo, de forma independiente para facilitar su implantación de acuerdo con la configuración particular de los predios donde se localiza.

En las figuras siguientes se presenta la sección transversal del pozo de ventilación, evacuación y bombeo, la galería de conexión al túnel y un ejemplo de su salida a superficie (Pozo 5) con la edificación funcional correspondiente.

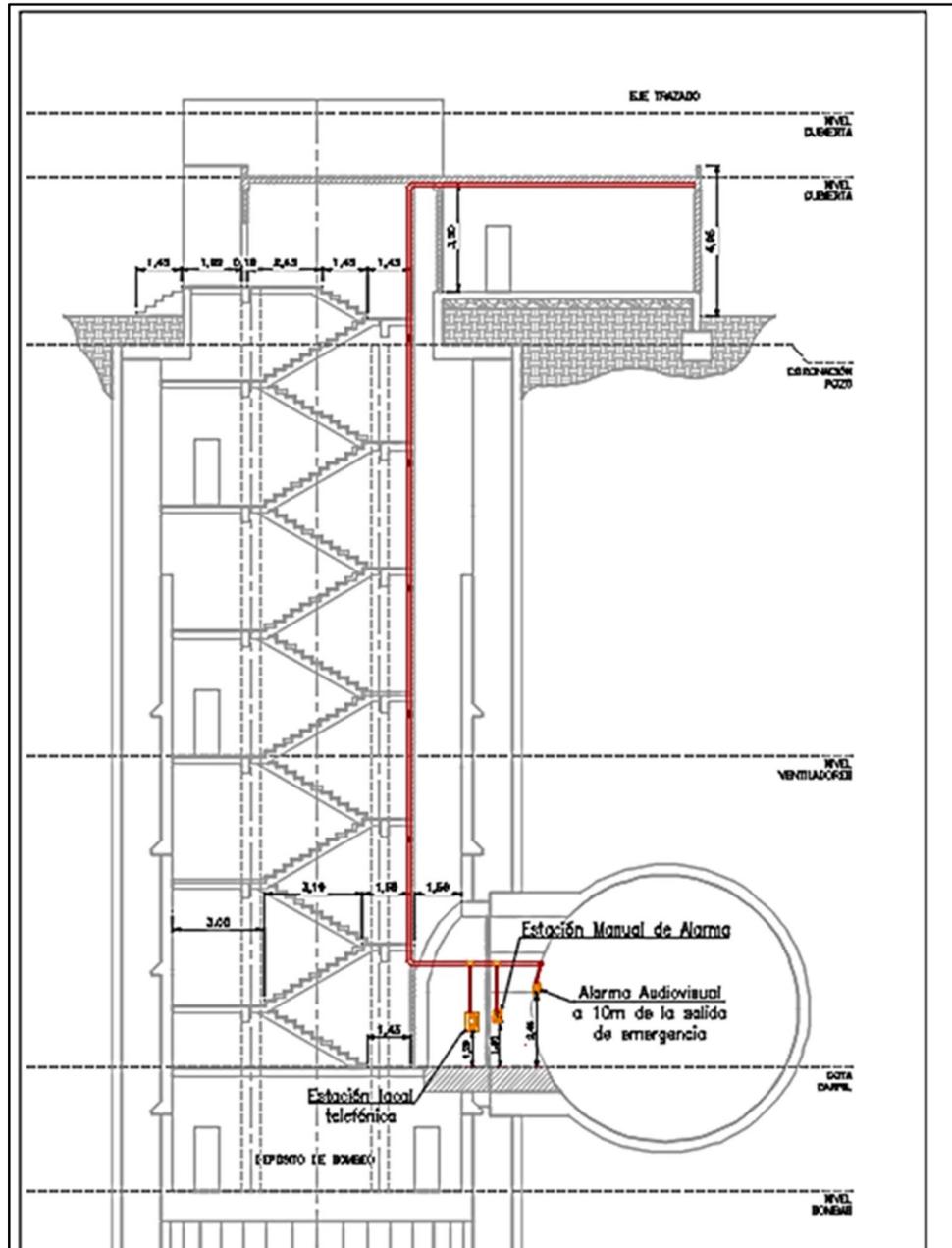


Figura 39. Sección transversal típica de los pozo de evacuación, ventilación y bombeo
Fuente: UT MOVIUS 2022

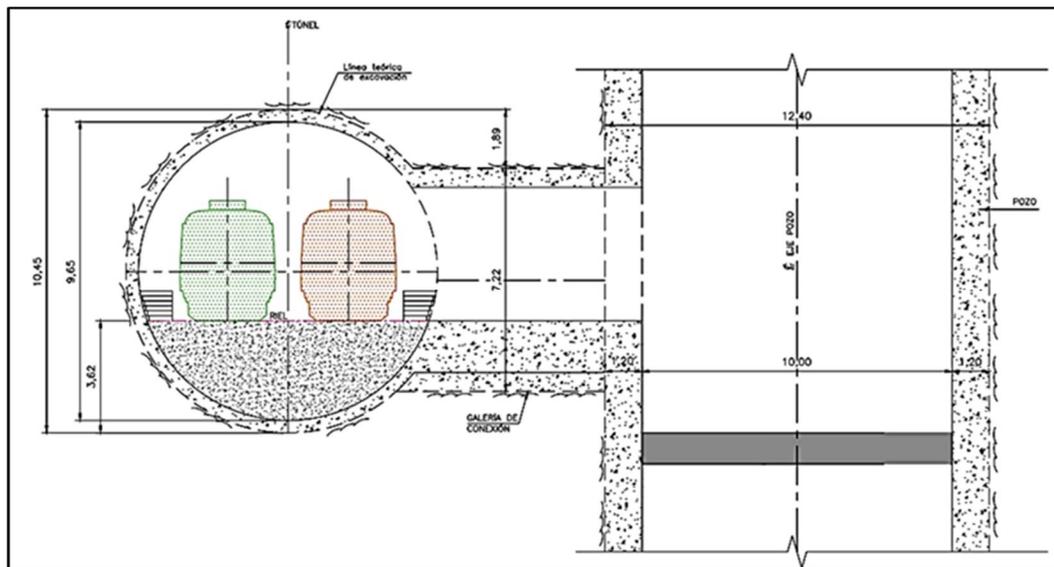


Figura 40. Vista longitudinal de la galería de conexión entre el pozo y el túnel
Fuente: UT MOVIUS 2022

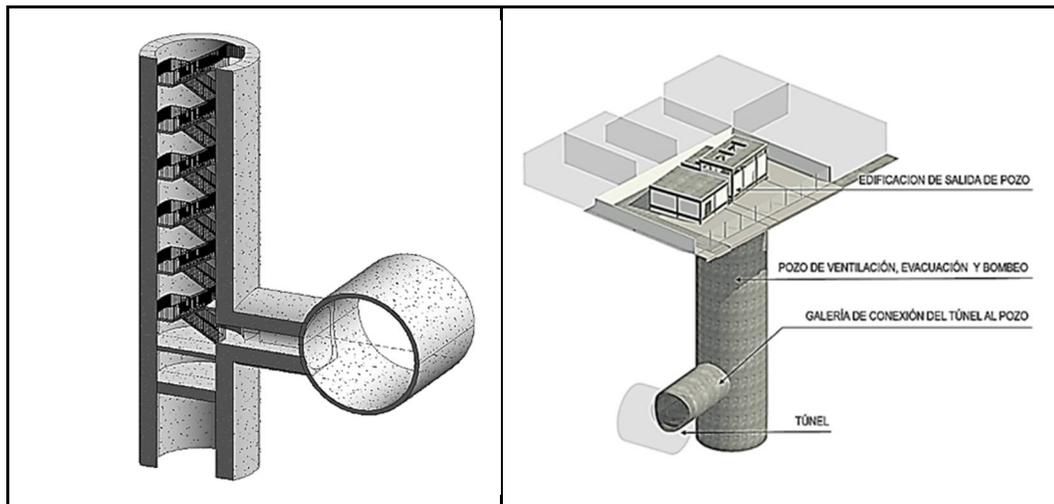


Figura 41. Vista isométrica de un pozo típico de ventilación, evacuación y bombeo
Fuente: UT MOVIUS 2022

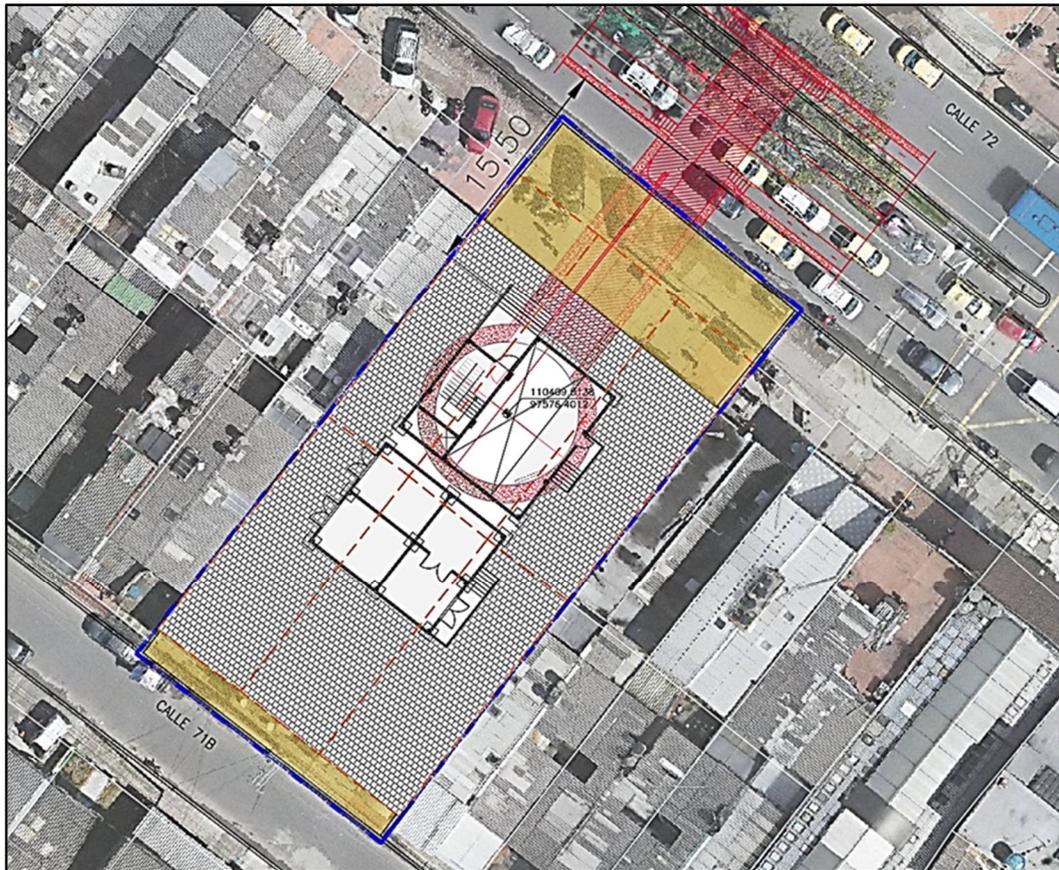


Figura 42. Implantación en superficie del Pozo 5 de ventilación, evacuación y bombeo (ejemplo)
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.6.5. Estaciones

Puesto que el túnel de la L2MB se construirá bajo el concepto de mono túnel en doble vía, en las estaciones se impone el concepto de plataformas laterales para no incrementar las obras necesarias ni el CAPEX.

De esta forma, todas las estaciones serán de plataformas laterales con 145 m de longitud útil, definida por las dimensiones del sistema metro, con un ancho de 4,50 m, excepto la Estación E1, que tendrá 6 metros de ancho para adaptarse a las mayores necesidades de demanda por su combinación con la PLMB.

Todas las estaciones subterráneas serán construidas por el método de *Cut&Cover* y sus excavaciones resultarán en una caja de 160 m de largo (interno), por 22,80 m de ancho (interno), donde se alojarán las vías férreas, las plataformas, los equipamientos de circulación vertical y las instalaciones de ventilación del túnel, entre otros. En la Estación E1, debido al ancho ampliado de las plataformas, la caja tendrá 25,80 m de ancho interno.

Todas las estaciones subterráneas, con excepción de la Estación E3, serán construidas bajo espacios originalmente ocupados por predios privados para que no se produzcan afectaciones significativas en calles y



avenidas. Los inmuebles privados afectados demandarán su compra o expropiación. La Estación E3, excepcionalmente, ocupará un espacio público en el interior del distribuidor vial de la carrera 68 con calle 68 y calle 72. Contemplará también la integración con Transmilenio de la Av. 68.

Durante la obra se realizarán interrupciones de tránsito de corta duración en la calle 72, calzada hacia occidente. Las obras de esta estación serán ejecutadas en fases y observarán la correcta reubicación temporal de tráfico.

Para las estaciones subterráneas se propuso un proyecto prototípico, aplicable a todas, con variaciones ocasionadas por su implantación urbana y especificidades de programa. Los módulos de acceso y biciparqueaderos también serán proyectos prototípicos, adaptables a la demanda de cada estación y a su implantación urbana. Ello así para lograr una mejor legibilidad de los espacios de la estación para los usuarios en fase de obra, pero también para que el constructor pueda optimizar y reducir sus costos por estandarización y reducir el CAPEX necesario con beneficio para la ciudad de Bogotá.

La Estación E1 – Calle 72 estará integrada a la PLMB y requerirá espacios específicos para esta conexión, tanto en la L2MB como en la PLMB. Las estaciones E1, E2, E3, E4 y E6 estarán integradas al sistema Transmilenio, requiriendo espacio en las estaciones del BRT, o en sus cercanías, para que emerjan las escaleras y ascensores necesarios.

La Estación E11, elevada, es única y sigue sus especificidades de programa y sus requerimientos para la implantación del sistema metro en el entorno urbano del sector.

En las imágenes siguientes se muestran las secciones transversales de las estaciones subterráneas y algunas vistas de la Estación E1.

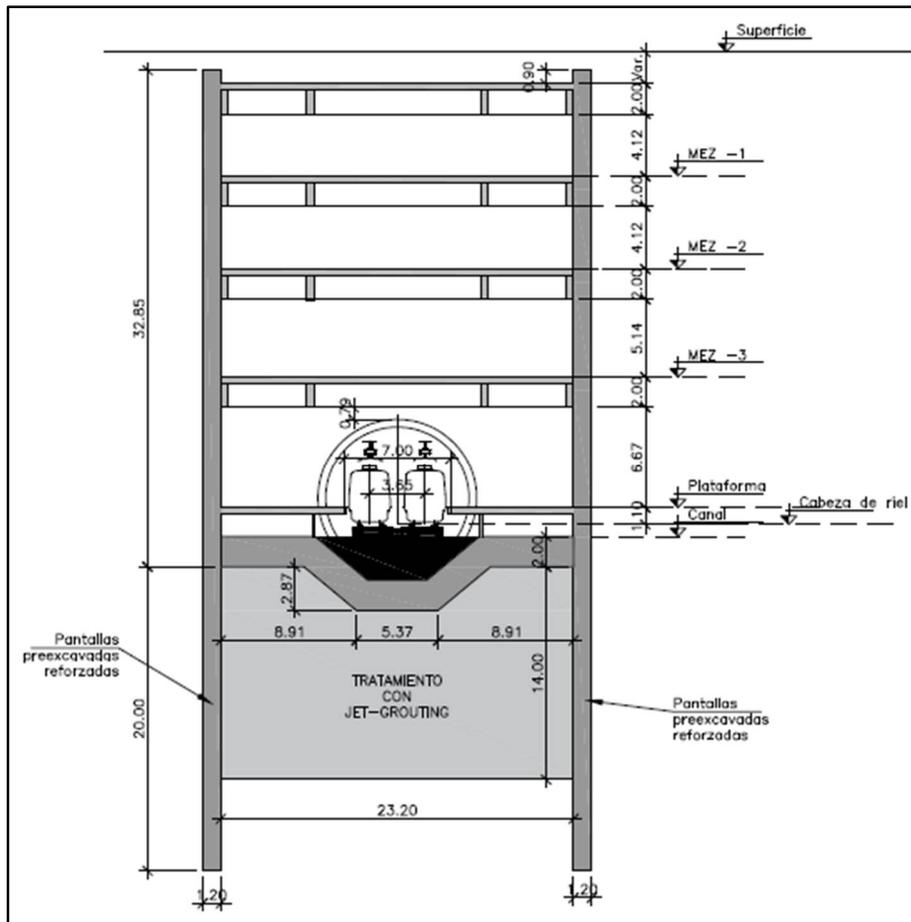


Figura 44. Sección transversal Estaciones E2 a E10
Fuente: UT MOVIUS



Figura 45. Estación E1. Vista 1
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 46. Estación E1. Vista 2
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 47. Estación E1. Vista 3
Fuente: UT MOVIUS 2022

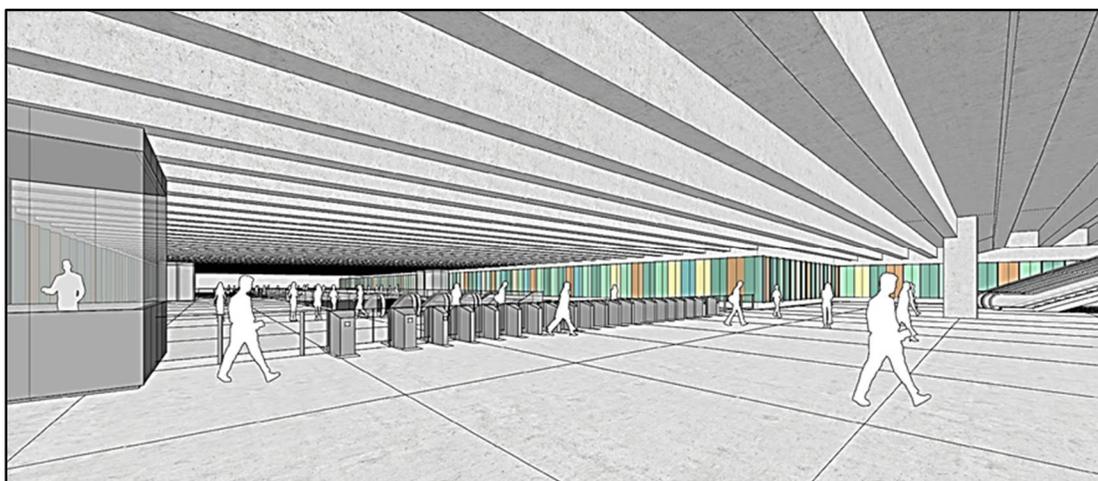


Figura 48. Estación E1. Vista 4
Fuente: UT MOVIUS 2022

En las siguientes imágenes se muestran algunas vistas de la estación elevada No. 11.

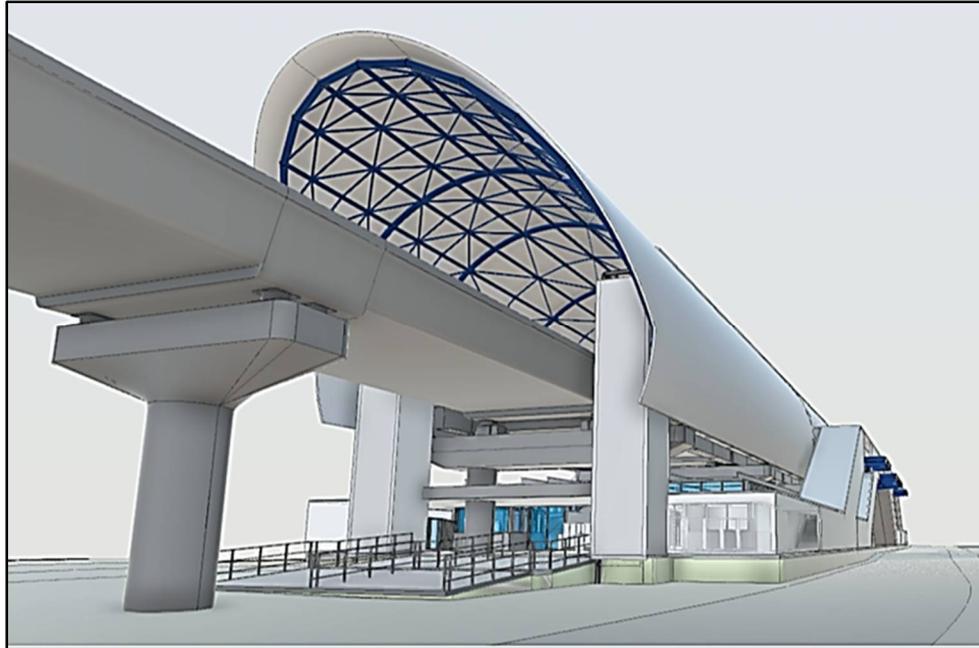


Figura 49. Estación E11. Vista 1
Fuente: UT MOVIUS 2022

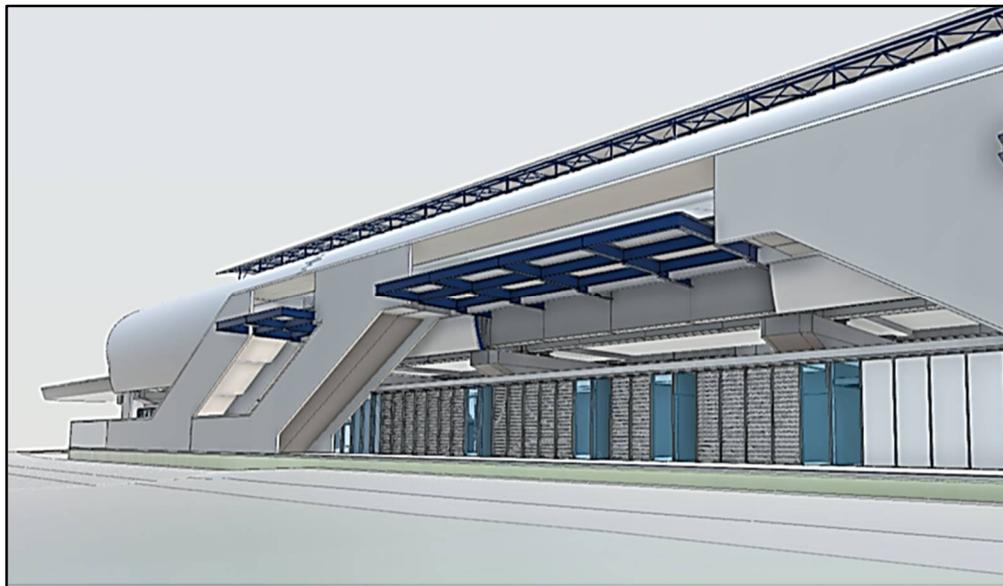


Figura 50. Estación E11. Vista 2
Fuente: UT MOVIUS 2022

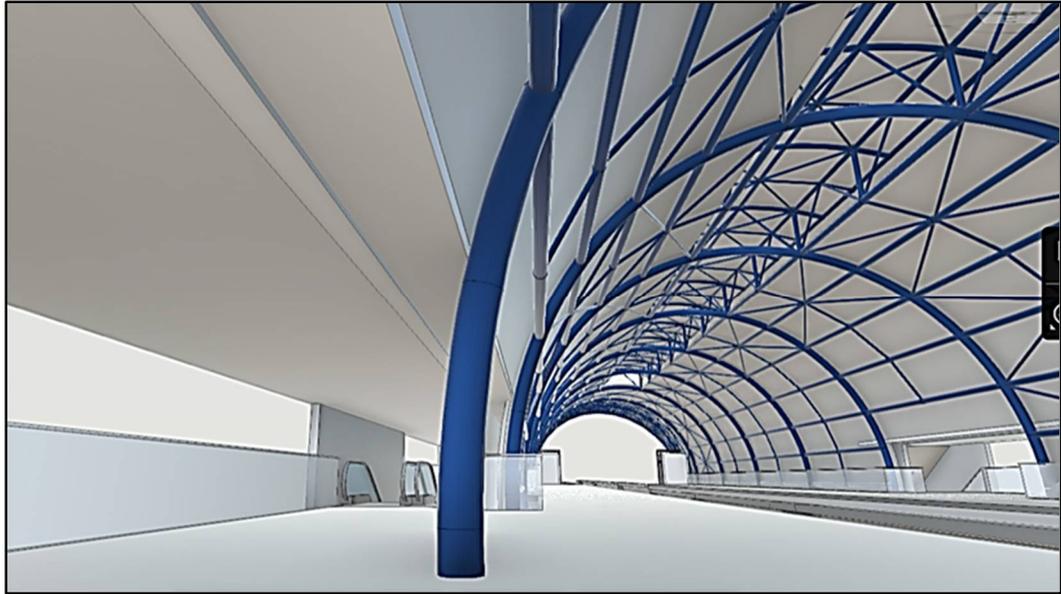


Figura 51. Estación E11. Vista 3
Fuente: UT MOVIUS 2022

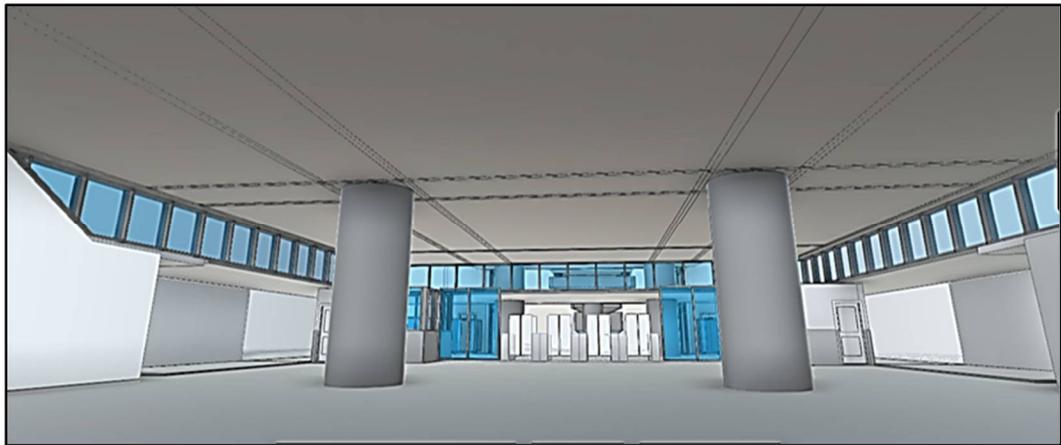


Figura 52. Estación E11. Vista 4
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.6.6. Viaducto

El tramo elevado se compone de un viaducto de 1005 m desde el final de la trinchera hasta el final de la cola de maniobras.

Ese tramo se divide en los siguientes subtramos, cada uno con distintos sistemas estructurales:

I. El primer subtramo empieza en una rampa de 3% con geometría horizontal en leve curva de radio 750 m para luego entrar en tramo recto con altura constante aproximada de 9,8 m entre el terreno y el tope de riel, hasta

llegar en la Estación E11 – Fontanar. Este subtramo se caracteriza por el sistema estructural viaducto elevado en Vigas Gran-U.

II. Enseguida se tiene el subtramo de la Estación E11.

III. A partir del final de la Estación E11 se tiene el subtramo de cola de maniobras y acceso al patio-taller. Este subtramo se compone de distintas soluciones:

- Primero un sector en viaducto elevado en Vigas Gran-U
- Después un sector con viaducto en vigas prefabricadas por donde se conectan los dos accesos norte y sur al patio-taller
- Después la cola de maniobra vuelve a la estructura en viaducto elevado en Vigas Gran-U
- Los accesos al patio-taller se hacen con viaducto en vigas prefabricadas y con un viaducto continuo en voladizos sucesivos para pasar sobre el pondaje sin construirse pilas dentro del mismo



Figura 53. Planta del tramo en viaducto
Fuente: UT MOVIOUS 2022

A continuación se muestra la configuración general del viaducto:

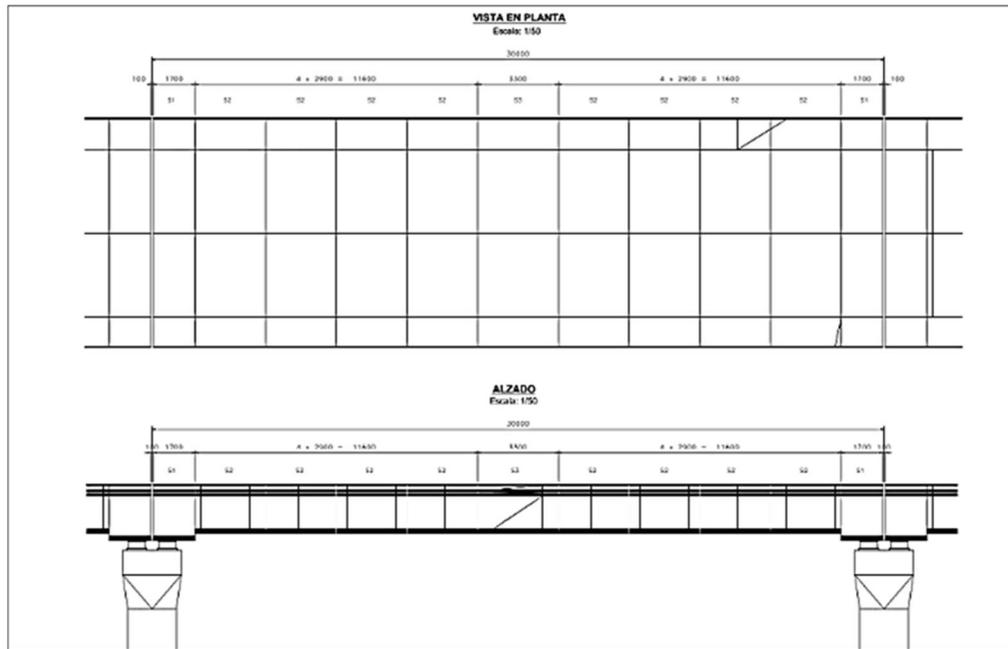


Figura 54. Planta y sección longitudinal del viaducto, tramo típico
Fuente: UT MOVIUS 2022

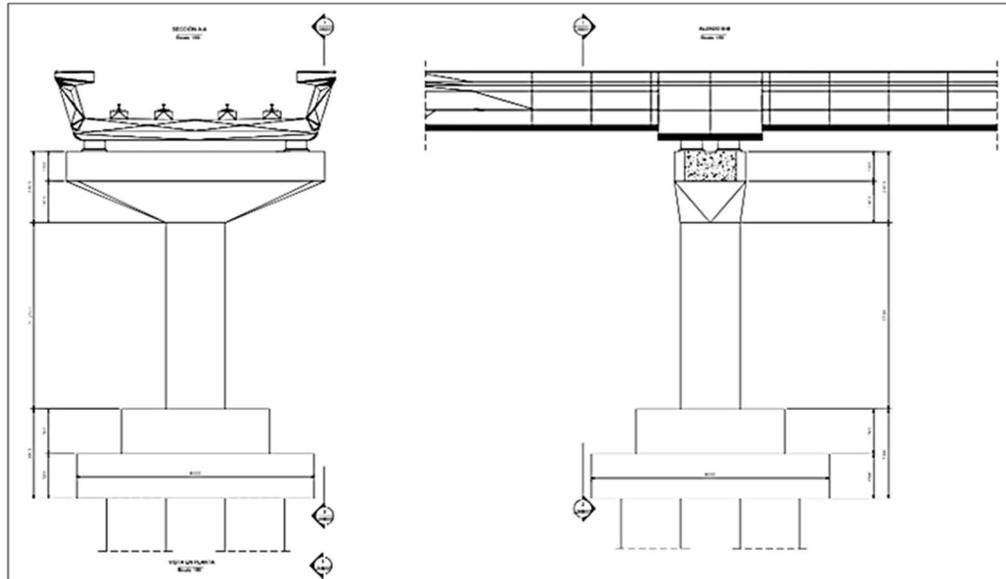


Figura 55. Secciones transversal y longitudinal del viaducto
Fuente: UT MOVIUS 2022

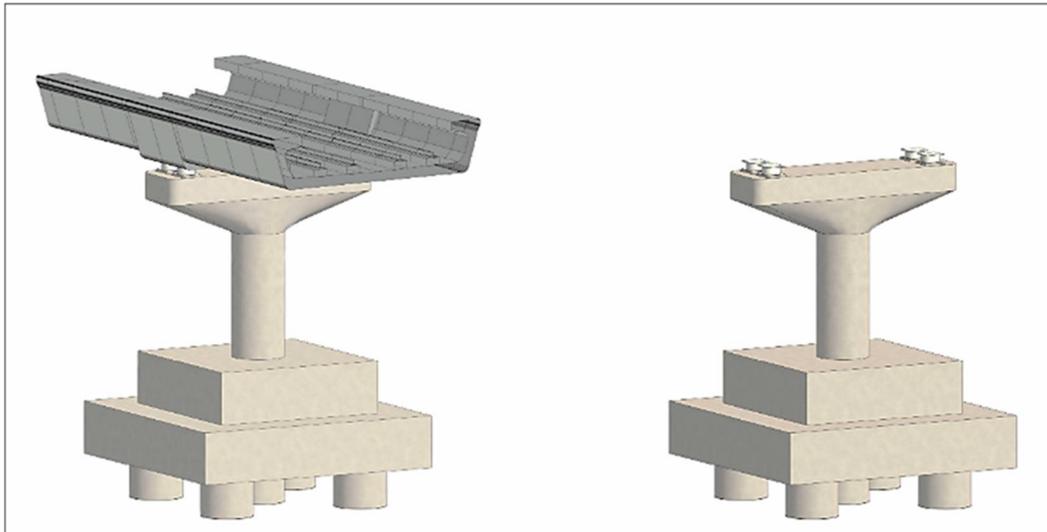


Figura 56. Vista 3D pila y dovela del viaducto
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.7. Superestructura

3.2.3.7.1. Vías férreas principales

Siempre que sea posible, la superestructura de la L2MB mantendrá la misma naturaleza y funcionalidad que la que va a ser instalada en la PLMB, es decir, doble vía de ancho UIC-60 y circulación por la derecha, según el sentido de la marcha.

La superestructura de las vías principales será sin balasto y estará formada por rieles 54E1 y fijaciones elásticas fijadas sobre las vigas del viaducto.

En el caso del montaje de las vías en el tramo elevado se emplearán barras de carril 54E1 de 18 metros de longitud con fijaciones ancladas directamente a plintos de hormigón. El sistema de sujeción de placa nervada con apoyo elástico amortigua los ruidos y vibraciones y es de fácil mantenimiento. Los plintos serán de hormigón armado de 510x600x260 mm en recta, con una separación de 150 mm, anclados a las esperas de las vigas. La separación entre sujeciones será de 750 mm y se definirá la distancia mínima entre una sujeción y el extremo del plinto.

3.2.3.7.2. Vías férreas del patio-taller

En el caso de que las vías de conexión y el haz de vías se monten sobre balasto, se emplearán traviesas monobloque de hormigón espaciadas cada 60 cm, sobre una capa de 20 cm de balasto. La superestructura en este caso estará compuesta por lo siguiente:

- Rieles 54E1 en barra corta de 18 m.

- Fijaciones elásticas sobre durmientes de hormigón mono bloque cada 0,6 m.
- 20 cm de balasto.
- Aparato de vías tipo 54E1-tg1/5-R100 sobre durmientes de hormigón.

En la zona de patio-taller, adicionalmente, existen vías con diferente función y por tanto la superestructura se adapta consecuentemente, pudiendo ser con foso o sin él, sobre pilarillos metálicos, ancladas o embebidas, en función de la necesidad.

3.2.3.7.3. Regulación de los elementos y componentes de la superestructura de línea

La normativa aplicable al componente superestructura de vía toma como referencia la experiencia internacional. En el caso de aplicación de normas EN y UIC, el orden de prevalencia de las normas para el diseño será el siguiente: primero normas EN y después las internacionales IEC, UIC e ISO. En el caso de que estas normas no se apliquen, las aplicables serán las normas BS, DIN y NF. Además, se debe respetar el conjunto de reglamentaciones colombianas.

Algunas normas particulares para considerar son:

- EN 13674 - Aplicaciones ferroviarias. Vía – Rieles
- UIC 721 R - Recomendaciones para el empleo de diferentes tipos de aceros para rieles
- EN 13232 - Aplicaciones ferroviarias. Vía – Aparatos de vía
- Manual de Normativa Férrea – Parte I y II – Ministerio de Transporte (2013)

Los componentes de la vía férrea abarcan los siguientes elementos, sin limitarse a ellos:

- Rieles
- Sistemas de fijación directa.
- Viga de hormigón armado
- Losa de Hormigón Armado
- Aparato de vías.
- Aparatos de dilatación
- Juntas aislantes
- Soldaduras
- Otros componentes de la vía férrea.

3.2.3.7.4. Factores que influyen en el dimensionamiento de la sección transversal de línea

El factor predominante en el dimensionamiento de la sección transversal de la línea es el relacionado con la tipología del túnel. En la Figura 57 y en la Figura 58 se aprecia la geometría y emplazamiento de los túneles para las alternativas bitubo (dos túneles independientes cada uno con capacidad de albergar un sólo tren en circulación) y monotubo (un único túnel capaz de albergar dos trenes en circulación), respectivamente.

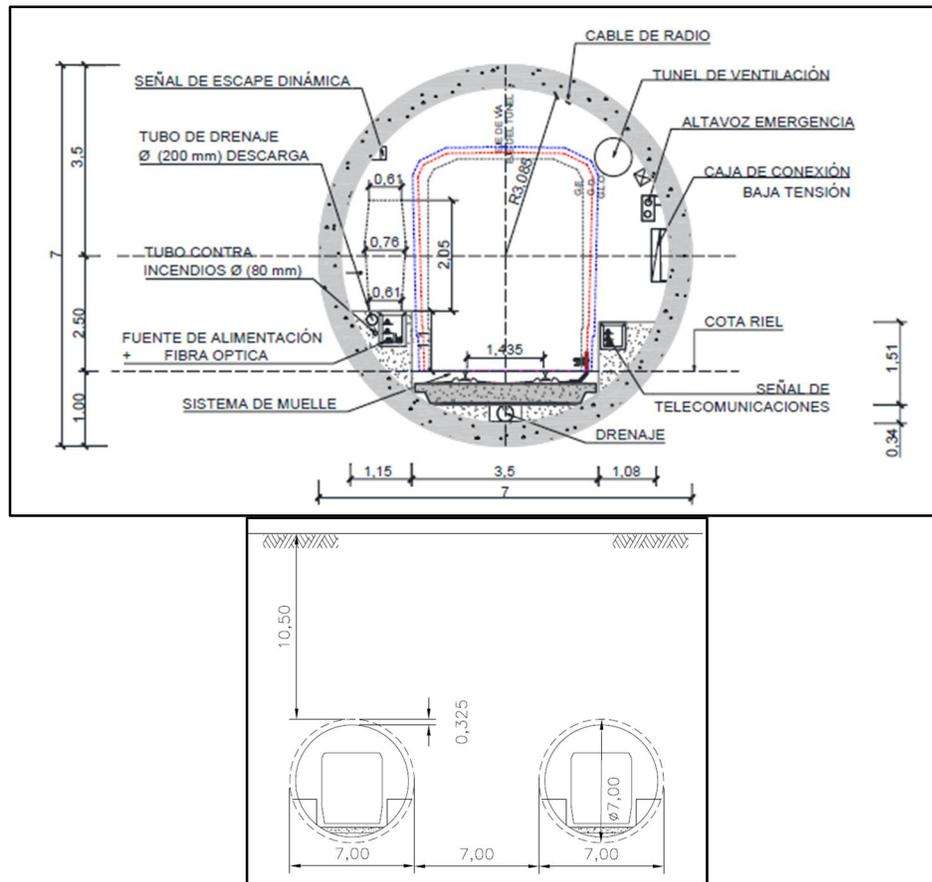


Figura 57. Geometría de bitubo e implantación
Fuente: UT MOVIUS 2022

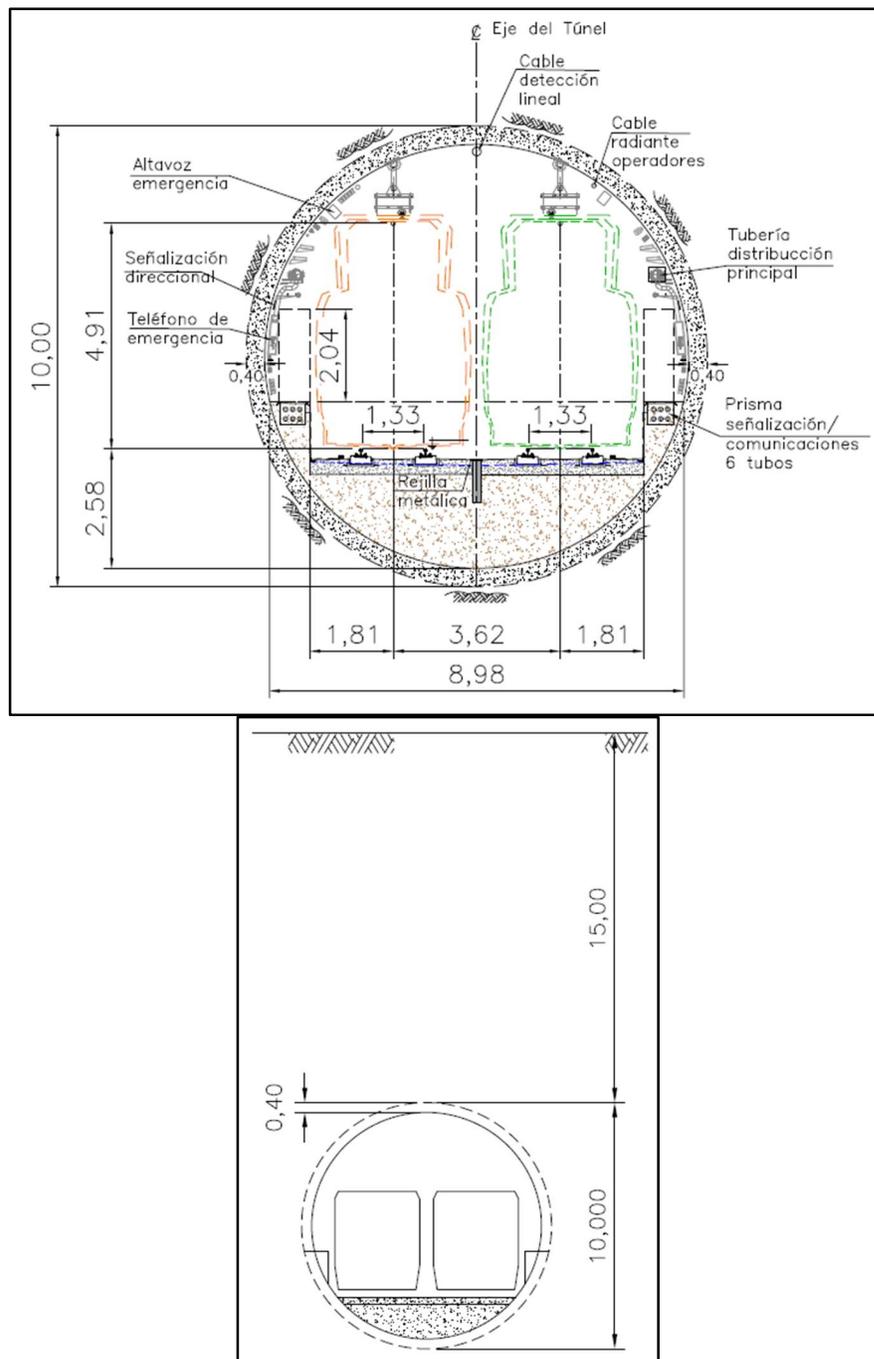


Figura 58. Geometría monotubo e implantación
Fuente: UT MOVIUS 2022

Para comparar las dos tipologías se realizó el cálculo de cantidades de obra civil en cada una de las mismas, con un estimativo del presupuesto basado en precios unitarios referenciales obtenidos de proyectos similares

o del banco de datos disponible para los diferentes ítems considerados. En los análisis también se incluyeron los costos de las máquinas EPB y su equipo periférico adicional, y otros costos asociados a servicio y mantenimiento, de acuerdo con datos de cotizaciones suministradas por fabricantes de este tipo de máquinas.

A partir de los análisis realizados, se optó por diseñar y construir el proyecto L2MB con la tipología monotubo. Las conclusiones del análisis realizado fueron las siguientes:

- La opción monotubo resultó ser un 11,5% más económica que la opción bitubo, aproximadamente en 63,3 MUSD, sin considerar otros aspectos que podrían incrementar la diferencia a favor de la opción monotubo como son: a) las adquisiciones prediales evitadas (por no necesitar las cajas de *Cut&Cover*); b) los costos de relocalización de redes evitados (por igual razón que la anterior); c) el consecuente riesgo en plazo inherente a los dos anteriores; d) el CAPEX de todos los sistemas radiantes, los cuales requieren doble cantidad de dispositivos en la opción bitubo porque en la opción monotubo irradian todo el espacio desde un solo eje (radio CBTC, Tetra, instalación contra incendio, entre otros).
- En relación con los aspectos ambientales, ambas opciones (bitubo o monotubo) tienen impacto similar, puesto que las dos tipologías estarán sometidas a los mismos cuidados y consideraciones para disponer infraestructura cerca del humedal Juan Amarillo y por debajo de su brazo. En consecuencia, al presentar un efecto similar para ambos tipos de túnel, no constituye un elemento diferencial y de definición en favor de una u otra tecnología.
- En términos de seguridad “safety”, se señala que ambas alternativas son igualmente seguras y serán diseñadas según la norma NFPA 130, por lo que no constituye en un elemento diferencial en favor de una u otra tipología.
- En la evaluación realizada para definir entre un monotubo o un bitubo no se incluyó el costo de los equipos asociados a los sistemas que deben incluirse en cada túnel. Por lo anterior, la diferencia encontrada en la evaluación podría incrementarse ya que la opción bitubo dispondrá de mayor equipamiento.
- El tiempo de construcción de la opción monotubo resulta ligeramente menor (en cerca de 3 meses), una vez compatibilizado con la construcción de las estaciones. En tal sentido, en la opción bitubo, para no interrumpir la construcción de los túneles con las estaciones, se requiere abrir más frentes de trabajo simultáneo de las estaciones.
- Existe más experiencia en la región latinoamericana de opción monotubo que para la bitubo.
- Al revisar el ancho entre paramentos a lo largo del corredor de la L2MB, la opción bitubo tendría mayor impacto debido a que los dos túneles y las estaciones ocuparían un mayor ancho de vía.
- En la opción bitubo, al tener que disponer de cambiavías excavados desde superficie, se impactan en mayor grado las zonas desde el punto de vista predial-social.
- La opción bitubo implica galerías transversales que requieren de pretratamientos para reducir asentamientos y filtraciones de agua, con limitado acceso para su construcción o repercusiones programáticas.
- La opción monotubo permite modificar el layout de ADVs en el futuro. Con la opción bitubo, el *layout* de vías es prácticamente inmodificable.

- De acuerdo con los análisis comparativos de costos básicos de obra civil realizados para el corredor de la ALO, se estima que construir la L2MB con trincheras puede costar el doble de lo que costaría excavar con un esquema monotubo con máquina EPB. La recomendación en este sentido fue construir un túnel con EPB en el corredor de la ALO hasta el pozo de ingreso de la máquina, ubicada al norte de la Estación E10.
- En relación con el alineamiento de la L2MB, fue posible desarrollar un alineamiento viable con monotubo que cuenta además con un conjunto de bondades que permiten mejorar sustancialmente la calidad del proyecto en múltiples dimensiones que van más allá de la propia velocidad de la línea, p.e. en términos de reducción de adquisición de predios requeridos en las estaciones, y en la no interrupción del tráfico en las grandes avenidas (Av. NQS, Av. 68, Av. Boyacá, y Av. Ciudad de Cali) durante su construcción.
- Con respecto al OPEX, los análisis comparativos de las opciones monotubo y bitubo indicaron que son esperables costos de operación muy similares. De acuerdo con el análisis de inversión realizado para un horizonte a 40 años, bajo el supuesto de que los costos de operación del esquema bitubo fueran mayores, se observó que estos costos de operación no llegarían a igualar la diferencia de CAPEX de las dos tipologías analizadas.

3.2.3.7.5. Criterios de diseño para el dimensionamiento de la superestructura de la línea

Todos los componentes de las vías, en sus distintas tipologías, serán de un tipo universalmente probado y que se encuentre en funcionamiento en una línea o red de metro durante un tiempo superior a los 5 años, con un tráfico similar a lo previsto para la L2MB y en condiciones medioambientales similares.

Con objeto de minimizar el número de repuestos y facilitar el mantenimiento de la vía, se considerará el empleo de un conjunto de sujeción y placa de apoyo.

La vía férrea se diseñará para una carga por eje estático de 13,5 tn empleando rieles de tipo 54E1 de grado R240. La tipología de las vías principales y todas aquellas que se sitúen en estructura será en placa, incluso las zonas de cola de maniobras.

En las vías principales se emplearán aparatos de vías de tg 1/9 y radio en vía desviada de 190 metros, con corazón en bloque soldados integrables en la vía en placa sin necesidad de empleo de durmientes de hormigón. Los corazones de cruzamientos y las agujas estarán reforzados para permitir una soldadura continua de los rieles.

El conjunto de la vía férrea deberá ser diseñado para integrarse con otros equipos del Sistema Integral, con técnica y funcionalidad en su construcción y facilidad de mantenimiento. Todos los pasos a nivel o accesos viales necesarios para el cruce a nivel de vías o acceso a las mismas de vehículos dotados de *diplois* se construirán mediante un sistema modular de paneles individuales de caucho conectados entre sí.

Al diseñar la vía férrea, se tendrán en consideración los factores ambientales, tales como ruido, vibración, corrientes de fuga, drenaje e impermeabilidad al agua.

La construcción de la vía férrea y los estándares de mantenimiento tendrán como prioridad los niveles de seguridad del sistema metro.

A continuación se indican las tolerancias geométricas en el montaje de las vías férreas:

Para el caso de la vía sobre viaducto, las tolerancias finales son las siguientes:

- Altimetría -3/+3 mm. Variación 1mm/m
- Planimetría: -3/+3 mm. Variación 0,4mm/m
- Trocha: -1/+2 mm. Variación 1mm/m
- Peralte: -3/3 mm. Variación 1mm/m
- Inclinación del riel (1/40): 1,7%-3,3%

En el caso de las vías en talleres (vía sobre balasto, sobre postes y embebida) las tolerancias son las siguientes:

- Altimetría -10/+10 mm. Variación 1,5 mm/m
- Planimetría: -5/+5 mm. Variación 1 mm/m
- Trocha: -2/+3 mm. Variación 1mm/m
- Peralte: -3/+3 mm. Variación 1,5 mm/m

Además, en el caso de la vía embebida, donde es necesario controlar la inclinación del riel, la tolerancia será la siguiente:

- Inclinación del riel (1/40): 1,7%-3,3%

En la vía sobre balasto la separación entre durmientes será de 600 mm con una tolerancia de ± 20 mm, controlando que los durmientes queden a escuadra respecto a los rieles con una tolerancia de ± 10 mm.

3.2.3.8. Composición de la sección transversal y criterios de dimensionamiento

La sección transversal de los diferentes elementos del proyecto se presenta en el numeral [1.2.3.6 Presentación de las secciones transversales de cada uno de los perfiles a lo largo del proyecto.](#)

Los criterios tenidos en cuenta para su dimensionamiento fueron los siguientes:

3.2.3.9. Túnel

- Se definió como sección transversal una circular considerando que: a) permite la utilización del método constructivo con máquina TBM (EPB - Earth Pressure Balance); b) permite inducir fácilmente presiones en el frente con el movimiento del escudo de la máquina para el control de las presiones tanto del agua como del terreno; c) ofrece ventajas para la colocación de los elementos prefabricados de soporte y revestimiento del túnel (dovelas de concreto prefabricado reforzado).
- Se adoptó una sección circular de 10,45 m de diámetro externo (9,65 m interno).
- El tamaño de la sección tiene en cuenta: a) holguras del centro de la pista del orden de 0.10 m; b) la presencia del soporte o revestimiento que tendrá un espesor de 0.40 m; c) estructuras de vías; d) espacios para mantenimiento, evacuación, espacio para vías férreas e instalaciones como señalización, iluminación, ventilación y drenaje; e) espacio para eventuales errores de construcción con el método de tunelización del escudo debido a baches verticales y horizontales, deformaciones y asentamientos irregulares.
- El alineamiento en planta del túnel (para ser excavado con máquina tuneladora EPB) se planeó lo más recto posible, con algunas curvas graduales de radio amplio, de no menos de 400 m, alejándose del

corredor vial de la calle 72 para reducir afectaciones en la movilidad vehicular y para evitar interferencias y afectaciones en superficie.

- La pendiente longitudinal máxima no es mayor del 4%.
- La pendiente del túnel es suficiente para facilitar la evacuación de agua, por lo que no es menor de 0,2%.
- Los pozos de entrada y salida servirán para el montaje o desmantelamiento y retiro de la máquina y del equipo de *backup*.
- Para el pozo de entrada de la máquina tuneladora se utilizó una sección tipo trinchera o confinada por pantallas preexcavadas de concreto reforzado, con una sección útil de 14,80 m de ancho por 220 m de longitud, y con una profundidad variable de 2 a 15 m.
- Para el pozo de salida de la máquina se analizaron dos opciones. La primera de ellas fue con sección rectangular de 15 m de ancho útil, 40 m de largo útil y profundidad de 50,7 m. Estas dimensiones son acordes con las utilizadas en proyectos de características similares al de la L2MB, como por ejemplo la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México, donde se construyó un pozo de ataque de la tuneladora (11 m de diámetro) con 14 m de ancho. La segunda opción analizada fue un pozo circular de 19,80 m de diámetro interno y 50,7 m de profundidad. La profundidad de este pozo está condicionada porque al oriente de la Av. Caracas se requiere construir la cola de maniobras en tramo recto y porque la L2MB requiere pasar bajo el deprimido vial de la Av. Caracas (en construcción), que forma parte de las obras de la PLMB. De estas dos opciones la finalmente seleccionada fue la de pozo circular debido a que se disminuyen los esfuerzos sobre las pantallas y a que existe una mejor respuesta al comportamiento de deformaciones y asentamientos alrededor del pozo.
- Para los pozos de evacuación, ventilación y bombeo se estableció una sección circular de 10 m de diámetro interno útil para los pozos 1 a 11, excepto en el pozo 3, que no tendrá ventilación y para el cual se definió un diámetro útil interno de 7 m. Los pozos tendrán profundidades variables de 29 a 46 m y se ubicarán a menos de 760 m según lo establece la norma NFPA 130.
- La geometría de las galerías circulares se escogió para mejorar la redistribución de esfuerzos, dado que estas galerías se tendrán que excavar según método convencional (sistemas mecánicos).
- El perfil del túnel se configuró considerando la funcionalidad de las estaciones subterráneas y manteniendo al menos una cobertura no menor de 1,5 D, siendo D el diámetro de excavación del túnel. Por lo anterior, cuando el trazado del túnel pasa las estaciones, éste se profundiza en el terreno con la finalidad de tener mayor cobertura y de esta forma disminuir subsidencias o asentamientos en superficie.
- La cobertura del túnel junto a las estaciones está dada por una profundidad a nivel de riel de 30 m, lo que hace que la cobertura desde superficie a cota del túnel sea del orden de 23,15 m, es decir 2,2 veces D, respetándose la cobertura mínima de 1,5 D en la proximidad de las estaciones.
- La cobertura desde superficie hasta la clave del túnel es variable a lo largo del trazado del túnel, lo cual depende de: a) las condiciones del terreno; b) la presencia o no de obstrucciones u obras construidas o por construir a lo largo del trazo planeado; c) el diámetro de excavación del túnel; d) el método de construcción. Con base en estas premisas, se estableció una cobertura que redujera los asentamientos en superficie y mantuviera las condiciones de estabilidad del frente del túnel. La mínima cobertura a la clave del túnel es del orden de 18 m y la máxima de 35 m.

3.2.3.10. Estaciones

A continuación se presentan los criterios especificados para el diseño de las estaciones y la forma en que estos fueron incorporados en los estudios de factibilidad:

3.2.3.10.1. Criterios de confort

Tabla 11. Criterios de confort

Criterio	Resultado
Se deben evitar las zonas oscuras para evitar caídas de los usuarios, así como mejorar el nivel de percepción de seguridad.	Se ha dado especial importancia a la iluminación de las estaciones, en especial en subterráneo, considerando que es de fundamental importancia para la orientación y seguridad de los usuarios. Elementos de riesgo tales como escaleras y límites de plataforma fueron directamente iluminados. La iluminación general de la estación resalta los elementos arquitectónicos, orienta a los usuarios a las salidas y hace una suave transición desde los espacios más profundos hasta la iluminación natural exterior.
La circulación desde el ingreso hasta las plataformas de embarque debe ser lógica e intuitiva, fácilmente identificable y visible.	Los recorridos están en continuidad natural, desde los módulos de acceso hasta las plataformas, posicionados de la forma más directa, para que se reduzcan las distancias recorridas. Entre Mezzanine.-1 y Mezzanine.-3, por ejemplo, las escaleras están puestas sin interrupciones.
El diseño debe evitar el ingreso de agua lluvia a cualquier espacio dentro de la estación.	Los ingresos a las estaciones se encuentran sobre una cota superior respecto al nivel superficial del espacio público, procurando evitar el ingreso de agua desde las áreas exteriores. Las edificaciones que sobresalen en el nivel de superficie asociadas al funcionamiento de las estaciones están debidamente cubiertas. Las vías por intervenir en las zonas de estación han sido ajustadas en su peralte y perfil longitudinal procurando dejar puntos bajos por fuera de las estaciones.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.2. Criterios de seguridad de los usuarios

Tabla 12. Criterios de seguridad de los usuarios

Criterio	Resultado
El diseño de las estaciones debe contribuir tanto a la seguridad real como a la percepción de seguridad por parte de los usuarios.	El diseño de las estaciones es conforme con los estándares locales e internacionales de seguridad. La buena percepción de seguridad por parte de los usuarios está estimulada por el conveniente dimensionamiento de escaleras y pasillos, la fluidez de los recorridos, la iluminación y la exposición parcial de la estructura resistente, que evidencia su potencia a servicio de la seguridad.
Las estaciones deben ser diseñadas en sus espacios y materiales en búsqueda de minimizar y evitar la posibilidad de cualquier tipo de accidente. Se debe poner especial cuidado a los espacios que generan mayor probabilidad de caída, tales como las Plataformas de Embarque, así como las escaleras y demás.	Se han previsto materiales seguros y antideslizantes para todas las áreas de circulación pública, en especial donde hay demanda específica, como plataformas y escaleras. La durabilidad y facilidad de limpieza y mantenimiento son factores clave para las estaciones, que tendrán larga permanencia en uso intensivo.
El diseño de las estaciones debe tener en consideración elementos que sean resistentes al vandalismo.	El diseño de las estaciones se conforma con elementos antivandálicos y adecuadamente resistentes, atendiendo tanto al uso intensivo como a su fácil mantenimiento
El diseño de las estaciones debe evitar la evasión de las barreras de control de acceso al sistema.	Se especificará la utilización de barreras de control de acceso con cerramientos altos de vidrio templado y se diferenciarán barreras con alto nivel de seguridad
Las estaciones deben ser diseñadas bajo los parámetros de seguridad contemplados por las normas nacionales e internacionales, tanto para las situaciones de operación regular como para situaciones de emergencia.	El diseño de las estaciones se realizó conforme a los requerimientos de nivel de confort y normativas locales e internacionales para perfecta operación en normalidad y situaciones de emergencia.
Las estaciones deben contar con los equipos para la detección y extinción de incendios, incluidos los sistemas de ventilación para disipar el humo cumpliendo con la norma NFPA 130 - 2017. En este sentido el Contratista socializa sus diseños y propuestas con el cuerpo de Bomberos del Distrito, quién debe avalar esta parte del diseño.	El diseño del sistema de detección y alarma contra incendio garantiza una detección temprana y confiable de un conato de incendio en estaciones, incluyendo galerías de acceso, puntos de venta de tiquetes y demás sitios asociados a estaciones del proyecto.

Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.3.10.3. Criterios de dimensionamiento de evacuación

Todas las estaciones cuentan con elementos con diseño universal, conforme a las normas y requerimientos técnicos.

Los requisitos de diseño relacionados con la capacidad de usuarios de la estación y los patrones de flujo se basan en la proyección de la demanda de pasajeros. Se eligió hora punto mañana en el horizonte 2042 por ser considerado el más cargado según el estudio de demanda.

Se considera una doble situación de la estación: en su uso habitual (condiciones normales) y en situación de emergencia, donde habrá que tener en cuenta no sólo las personas que ocupen la estación en ese momento sino también las que puedan venir en los trenes, que también se evacuarán a través de la estación .

Para el correcto dimensionamiento de los espacios públicos de la estación, a partir de los datos de demanda, se realizaron 12 verificaciones compatibles con normativa NFPA 130 y nivel de servicio y confort requerido para el sistema, como se indica a continuación:

- VERIFICACIÓN 1 - Vaciar la plataforma en menos de un intervalo entre trenes (headway). Sirve para garantizar que en las plataformas no habrá personas retenidas cuando se verifica la llegada de una nueva composición.
- VERIFICACIÓN 2 - Índice de Confort en plataformas < 1,29 persona/m²; define el nivel de servicio ofrecido por las plataformas.
- VERIFICACIÓN 3 - IC en nivel Mezzanine -3. (arriba de las plataformas) < 1,29 persona/m². Define el nivel de servicio ofrecido por el nivel inmediatamente superior a las plataformas.
- VERIFICACIÓN 4 - Distancia < 100 m en las plataformas hacia escaleras o ascensores. Garantiza la distribución correcta de escaleras en plataformas y cumple con el ítem 5.3.34 de NFPA 130-2020.
- VERIFICACIÓN 5 - Índice de Confort en condiciones de emergencia < 3,3 personas/m² en la plataforma. Define el límite de nivel de seguridad en condiciones de emergencia y cumple con la tabla Tabla K.3.3-1 de NSR10.
- VERIFICACIÓN 6 - escaleras o ascensores en condiciones de emergencia < 3,3 personas/m² en el Mez - 3. Define el límite de nivel de seguridad en condiciones de emergencia y cumple con la tabla Tabla K.3.3-1 de NSR10.
- VERIFICACIÓN 7 - Evacuación de las plataformas (hasta 4 minutos). Define tiempo seguro para evacuación de las plataformas y cumple con el ítem 5.3.3.1 de NFPA 130-2020
- VERIFICACIÓN 8 - Llegar en zona segura (hasta 6 minutos). Define tiempo seguro para evacuación hasta área segura o espacio exterior de la estación. La definición de “zona segura” interna a la estación debe estar garantizada por ventilación y combate a incendios. Cumple con el ítem 5.3.3.2 de NFPA 130-2020
- VERIFICACIÓN 9 – Dimensionamiento de los pasillos considerando demanda de pasajeros y ancho disponible
- VERIFICACIÓN 10 – Dimensionamiento de escaleras por nivel para que sean compatibles con la demanda de pasajeros
- VERIFICACIÓN 11 – Dimensionamiento de torniquetes para que sean compatibles con la demanda de pasajeros
- VERIFICACIÓN 12 – Dimensionamiento de torniquetes para transferencias de pasajeros para PLMB (apenas E1)

Los parámetros considerados para condiciones normales y de emergencia son los siguientes:

Tabla 13. Criterios dimensionamiento de evacuación

	Criterios condiciones normales		Referencia
Headway	2,16	min	Según el ET2 – Plan Operacional Preliminar
Trenes por hora	27	trenes	60 min / 2,16 = 27 trenes
Capacidad de flujo EF ascendente	0,028	personas/mm-min	G371A Station Planning Standards and Guidelines – London Underground
Capacidad de flujo EF descendente	0,028	personas/mm-min	G371A Station Planning Standards and Guidelines – London Underground
Capacidad de flujo EM	100	personas/min	G371A Station Planning Standards and Guidelines – London Underground

	Criterios condiciones normales		Referencia
Capacidad pasillo	40	personas/min	G371A Station Planning Standards and Guidelines – London Underground
Faja plataforma (borde)	0,45	m	5.3.4.2 NFPA 130-2020
Faja plataforma (pared)	0,30	m	5.3.4.2 NFPA 130-2020
Faja pasillo (pared + paneles)	0,90	m	5.3.4.2 NFPA 130-2020
Composición metroviaria	1800	pasajeros	Según definiciones de Material Rodante
Velocidad flujo plataformas	37,7	m/min	5.3.4.4 NFPA 130-2020
Velocidad flujo escaleras	14,6	m/min	5.3.5.3 NFPA 130-2020
Velocidad flujo vestíbulo	61	m/min	5.3.4.5 NFPA 130-2020
Bloqueos embarque	15	personas/min	PLMB
Bloqueos desembarque	25	personas/min	5.3.8.5 NFPA 130-2020
Portones	60	personas/min	5.3.7.1 NFPA 130-2020

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.4. Criterios de diseño estructural

Tabla 14. Criterios de diseño estructural

Criterio	Resultado
Los ejes estructurales deben tener distancias modulares para la ubicación de las columnas, con el fin de regularizar el sistema constructivo, permitiendo manejar formaleta prefabricada para el vaciado de concretos de vigas y columnas.	Se plantearon ejes estructurales con la misma separación en cada una de las estaciones para estandarizar los procesos constructivos.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.5. Criterios de economía operacional

Tabla 15. Criterios de economía operacional

Criterio	Resultado
Estandarización de materiales y especificaciones de las plataformas de embarque.	Buscando manejar el mismo lenguaje arquitectónico de la PLMB, se manejan iguales materiales en las plataformas de embarque. Para todas las estaciones, los acabados son los mismos.
Escaleras fijas, estandarizadas en sus especificaciones.	Buscando manejar el mismo lenguaje arquitectónico de la PLMB, las escaleras cuentan con los mismos acabados de las de la PMLB, revestidas de granito pulido o porcelanato de alto tráfico con barandas con pasamanos de acero inoxidable.

Criterio	Resultado
Escaleras mecánicas, estandarizadas en sus especificaciones.	Buscando manejar el mismo lenguaje arquitectónico de la PLMB, se manejan las mismas referencias o marcas de escaleras para todas las estaciones.
Pasamanos, parapetos, ascensores entre otros elementos que se repitan en las estaciones.	Buscando manejar el mismo lenguaje arquitectónico de la PLMB, se manejan las mismas referencias o marcas de ascensores, los mismos pasamanos de acero inoxidable y el mismo material para los parapetos.
Puertas y Ventanas en sus materiales, dimensiones, acabados y colores.	Se ha buscado, en lo posible, tipificar las puertas y ventanas en cuanto a materiales, dimensiones, acabados, colores y uso para todas las estaciones. Los diseños de las puertas se realizaron según estudios de confort térmico.
Pisos, cielos rasos, muros y patrones de instalación que se tengan según los espacios.	Se realizó una zonificación de pisos por tipo de espacio y se utilizaron los mismos patrones de diseño de piso establecidos para la PLMB. Esto mismo se hizo para los tipos de cielo raso y patrones de diseño.
Modulación de los elementos y materiales constructivos.	En los planos se establecieron las modulaciones de acabados tales como revestimientos, cerramientos, pisos y paredes, teniendo en cuenta los patrones de diseño establecidos en la PLMB.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.6. Criterios de circulación de los usuarios

Tabla 16. Criterio de circulación de usuarios

Criterio	Resultado
El diseño de las circulaciones al interior de las estaciones debe garantizar un recorrido directo y sin obstáculos para los usuarios, permitiendo integrarse de manera adecuada con las áreas destinadas para los servicios conexos a los pasajeros.	Los recorridos están en continuidad natural, desde los módulos de acceso hasta las plataformas, posicionados de la forma más directa, para que se reduzcan las distancias recorridas. Las áreas operacionales y de servicios tienen accesos y recorridos técnicos propios, sin interferencia en las zonas públicas, pero accesibles desde ellas.
Todas las estaciones deben ser accesibles universalmente y dependiendo de la tipología de las estaciones y las condiciones de acceso se debe contemplar la instalación de uno o más ascensores. Tanto en los accesos a los vestíbulos como a las plataformas de embarque según se requiera.	Todas las estaciones cuentan con elementos con diseño universal, conforme a las normas y requerimientos técnicos. Dispondrán de ascensores, en zona no paga, desde la superficie hasta vestíbulo (Mezzanine. -1) y desde éste hasta las plataformas, en zona paga. Se previó un ascensor suplementario (2 ascensores por plataforma) para que no haya suspensión de servicio por falla técnica. Un ascensor por plataforma será resistente al fuego y tendrá antecámara, también protegida, para refugio de discapacitados
En los casos que se ubiquen dos (2) escaleras mecánicas y una escalera fija en un solo punto, las escaleras mecánicas se	Todas las estaciones adoptan este modelo para conjunto de escaleras fijas y mecánicas

Criterio	Resultado
deben disponer en los costados y alojar entre ellas las escaleras fijas.	
Todas las estaciones deben contar con ascensores para garantizar la accesibilidad universal.	Todas las estaciones cuentan con ascensores tanto en las zonas pagas como no pagas, garantizando que haya siempre accesibilidad universal.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.7. Criterios de responsabilidad ambiental

Tabla 17. Criterios responsabilidad ambiental

Criterio	Resultado
El diseño de la estación debe cumplir como mínimo con el Nivel 2, Reconocimiento intermedio, en la categoría de Proyecto Integral (Urbanismo + Arquitectura), según lo dispuesto dentro de la Resolución No. 03654 de la Secretaría Distrital de Ambiente, "Por la cual se establece el programa de reconocimiento BOGOTÁ.	Las intervenciones previstas tanto para los aspectos arquitectónicos como urbanísticos se soportan con los criterios enumerados a través de los indicadores establecidos dentro del Artículo 11 de la Resolución 03654 de la Secretaría de Ambiente

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.8. Confort acústico

Tabla 18. Confort acústico

Criterio	Resultado
El desempeño acústico de las áreas públicas de las estaciones debe permitir la emisión de mensajes de información al público de manera clara e inteligible.	Los materiales de las fachadas y diseño de bocas de acceso cuentan con materiales de alta absorción del sonido para evitar efectos de reverberamiento.
El sistema de información a pasajeros debe poderse escuchar en todo momento por encima del ruido mecánico emitido por ventiladores u otros sistemas.	Como parte del diseño, se incluyó el sistema de megafonía, el cual será inteligible y contempla que pueda ser audible ante condiciones de alto ruido, congestión de usuarios, situaciones de emergencia, operación nominal de la totalidad de equipamiento mecánico y tráfico normal de trenes.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.9. Puntos ecológicos



Tabla 19. Puntos ecológicos

Criterio	Resultado
Se debe plantear la localización de mínimo 2 Puntos Ecológicos por acceso a la estación. Su localización no debe interferir con los flujos de los usuarios del sistema. El punto ecológico y el color de los recipientes deben dar cumplimiento al código de colores y las especificaciones establecidas en la normativa vigente.	Se localizaron puntos ecológicos por acceso a la estación, en áreas que no obstaculizan el libre tránsito peatonal.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.10. *Infraestructura asociada a las estaciones*

Tabla 20. Infraestructura asociada a las estaciones

Criterio	Resultado
Todas las estaciones deben contar con un área para localizar ciclo – parqueaderos. Estos podrán estar ubicados en el nivel de acceso, sótanos, o pisos superiores dependiendo del diseño de cada estación. Las áreas de ciclo – parqueaderos deben contar con infraestructura de soporte a la bicicleta y a la operación de estos espacios.	Todas las estaciones cuentan con biciparqueaderos, dimensionados conforme la demanda proyectada. Como principio, los biciparqueaderos están posicionados en nivel calle, para que sean convenientes, confortables y accesibles a los bicisuarios. Debido a la compra o expropiación de largos terrenos para construcción de las estaciones, hay espacios disponibles en todas las estaciones para posicionar los biciparqueaderos en nivel calle. La única excepción es la Estación 1, donde se le posicionó en nivel superior, accesible por rampas confortables, dado que es una zona de alta densidad, escasez de espacio y alto valor comercial de nivel calle.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.11. *Selección de los materiales y acabados*

Tabla 21. Selección de materiales y acabados

Criterio	Resultado
Materiales unificados para todas las estaciones de la línea 2.	Se tomó como referencia los materiales de la PLMB para todas las estaciones, buscando manejar el mismo lenguaje arquitectónico.
Fácil mantenimiento y reparación (remoción de rayones, pinturas, etc.)	Se utilizaron materiales antigrafiti de fácil mantenimiento y reparación.

Criterio	Resultado
Resistencia al uso intenso y al alto tráfico.	Los materiales y acabados utilizados en todas las estaciones serán de tráfico alto y resistentes al alto impacto y desgaste por uso, especialmente en los pisos.
Buena respuesta a las agresiones y al vandalismo.	Se usarán materiales anti grafiti especialmente en las fachadas de las bocas de acceso a todas las estaciones, así como elementos antivandálicos.
Buen comportamiento ante la suciedad (de fácil limpieza).	Se usarán materiales que para su mantenimiento solo requieran de agua y jabón y no de químicos. Se utilizarán colores y acabados que no se ensucien con facilidad.
Teniendo en cuenta la existencia de información sonora al público (megafonía) y el ruido producido por el propio material móvil, se aplicarán materiales que absorban o reflejen el ruido para obtener el nivel de confort adecuado.	Los acabados de las estaciones se establecieron basados en un estudio bioclimático y de confort, con materiales absorbentes al nivel de ruido permitido en una estación de metro.
Materiales y equipamientos resistentes al vandalismo (graffiti, golpes y rayaduras) en las áreas públicas de la estación.	Se usarán materiales que dificulten la adherencia de pinturas y rayaduras en todas las áreas públicas de cada estación.
Fijaciones ocultas o no accesibles de los materiales y equipamientos.	En cerramientos o elementos que requieran ser fijados, se preverá que esta fijación no quede expuesta y que quede oculta a la vista para efectos de vandalismo.
La forma, la textura y su instalación debe facilitar la limpieza de los materiales.	Se buscará la utilización de materiales con superficies lisas que faciliten su limpieza y eviten la acumulación de mugre o polvo.
Materiales y esquinas sin aristas terminadas en punta o con filos para evitar daños o accidentes.	Se utilizarán esquineros en los sitios que se considere necesario, y se aplicarán acabados que no generen ningún tipo de arista que pueda provocar algún tipo de accidente.
En caso tal que se defina el uso de cielo raso en las estaciones estos deben ser registrables.	Los cielos rasos deben ser modulares y aprobados por la EMB, y serán inspeccionables con fácil desmonte del mismo.
Los materiales deben cumplir con la resistencia al fuego según lo indicado por la normativa aplicada en el diseño de las estaciones.	Por ser una estación de metro, todos los materiales contarán con alta resistencia al fuego de aproximadamente dos horas. Cada material contará con este requerimiento en los certificados de calidad.
Los pisos deben ser antideslizantes.	Se utilizarán pisos antideslizantes de tráfico alto para todas las estaciones, sus bocas de accesos y exteriores.
Todos los vidrios empleados deben contar con película de seguridad.	Los vidrios dispondrán de películas de seguridad y control solar para protección contra los rayos ultravioleta, resistencia a la flexión, al impacto, a la compresión y al choque térmico con películas incoloras de tonalidad gris.
Garantizar un rápido suministro de recambio en caso de deterioro.	De todos los materiales por utilizar en las estaciones, se mantendrá en bodega un <i>stock</i> de materiales para futuras reparaciones, garantizando el rápido recambio en caso de daño o deterioro.
Mobiliario antivandálico y de fácil limpieza y reposición.	Todas las superficies o mobiliarios expuestos a los usuarios serán de tipo antivandalismo, de fácil limpieza y reposición.

Critero	Resultado
En las zonas públicas, se debe instalar un material con un sistema modular que permita el desmontaje individual con el objeto de facilitar los trabajos de sustitución de un panel dañado o de supervisión de las infraestructuras existentes detrás.	En las bocas de acceso o áreas de las estaciones expuestas al público se utilizarán materiales de fácil desmontaje que permita el recambio rápido de cualquier material de fachada o exterior.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.10.12. Sistema de protección contra incendios

Tabla 22. Sistema de protección contra incendios

Critero	Resultado
Sistema de detección de incendios.	El diseño del sistema de detección y alarma contra incendio garantiza una detección temprana y confiable de un conato de incendio en estaciones, incluyendo galerías de acceso, puntos de venta de tiquetes y demás sitios asociados a estaciones del proyecto.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.11. Infraestructura de transporte del proyecto

3.2.3.11.1. Puentes, canales y box culverts

Se realizó un reconocimiento visual de los puentes, canales y box culverts existentes a lo largo del trazado, desde la calle 72 con carrera 7 hasta la diagonal 151 con carrera 147, que permitió evaluar sus condiciones y operatividad. Como resultado del mismo, se identificaron e inspeccionaron las 12 estructuras indicadas en la Tabla 23.

Tabla 23. Estructuras inspeccionadas en la visita de campo

Número de la obra	Nombre	Tipo	Estructura	Longitud Total (m)	Coordenadas	Estado evidente de la estructura
1	Calle 72 Av. Cra 30	Puente vehicular	Placas, aletas y cabezales de concreto	169	4° 40' 3,778" N 74° 4' 24,212" W	Juntas de dilatación colmatadas con material vegetal y basura, daños en los accesos peatonales, acero expuesto y segregación del concreto en los peldaños, deterioro de pintura en las barandas y desprendimiento de concreto en la barrera de protección
2	Calle 72 Av.	Puente	Armadura de	101	4° 40' 3,289" N 74°	Sin daño evidente

Número de la obra	Nombre	Tipo	Estructura	Longitud Total (m)	Coordenadas	Estado evidente de la estructura
	Cra 30 (Puente metálico)	peatonal	acero		4° 24,821" W	
3	Calle 72 Transv 56a	Box culvert	Placas	30	4° 40' 12,315" N 74° 4' 35,184" W	Juntas de dilatación colmatadas con material vegetal, presencia de fisuras en la parte inferior del tablero, andenes deteriorados
4	Calle 72 Cra 68	Puente vehicular	Placas, aletas, pilas, cabezales en concreto y vigas cajón metálica.	124	4° 40' 39,279" N 74° 5' 9,561" W	Juntas de dilatación colmatadas con material vegetal, acero expuesto y presencia de corrosión, en la estructura de acceso peatonal se encuentra daños en los peldaños y en la losa de concreto por escorrentía de agua y acero expuesto, además de presencia de material vegetal en los apoyos
5	Calle 72 Av. Boyacá	Puente vehicular	Placas, aletas, pilas, cabezales y vigas cajón en concreto.	145	4° 41' 14,159" N 74° 5' 42,173" W	Juntas de dilatación colmatadas con material vegetal, se evidencia deformaciones por flexión en algunas láminas de <i>steel deck</i> del tablero
6	Av Cra 86 Calle 80 - Vehicular	Puente vehicular	Placas, aletas, pilas, cabezales y vigas en concreto.	291	4° 42' 11,372" N 74° 6' 3,558" W	Juntas de dilatación colmatadas con material vegetal, deterioro en los perfiles de las juntas, se observan asentamientos en los estribos y pilas del costado norte del puente
7	Av Cra 86 Calle 80 - Peatonal	Puente peatonal	Armadura de acero	88	4° 42' 9,978" N 74° 6' 2,545" W	Sin daño evidente
8	Transversal 86 río arzobispo (Puente)	Puente vehicular	Placas, aletas, pilas, cabezales y vigas en concreto.	140	4° 42' 41,386" N 74° 5' 36,381" W	Las juntas de dilatación así como los andenes requieren limpieza del material vegetal, la barrera de protección presenta pérdida de recubrimiento y acero expuesto
9	Transversal 86 río Arzobispo (Box Culvert)	Box culvert peatonal	Placas en concreto	35	4° 42' 42,203" N 74° 5' 36,348" W	Se presentan fisuras entre 4 mm y 8 mm en las placas laterales y la placa inferior de este box culvert
10	Calle 127	Puente	Placas, aletas,	80	4° 43' 37,168" N	Juntas de dilatación colmatadas

Número de la obra	Nombre	Tipo	Estructura	Longitud Total (m)	Coordenadas	Estado evidente de la estructura
	Avenida Ciudad de Cali	vehicular	pilas, cabezales y vigas en concreto.		74° 5' 59,744" W	con material vegetal y se observa un desnivel en la rasante en la zona de acceso del puente
11	Canal Cafam	Canal hidráulico	Placas de concreto	-	4° 44' 47,588" N 74° 6' 20,557" W	Presencia de fisuras de espesor entre 5 mm y 10 mm, daños generalizados en las placas laterales del canal, acero expuesto en las estructuras de salida y entrada del box culvert, presencia de material vegetal en las juntas

Fuente: UT MOVIUS 2022

A continuación se muestran los esquemas de ubicación de las obras mencionadas en la tabla anterior.



Figura 59. Esquema de localización obras 1 y 2
Fuente: Google Maps

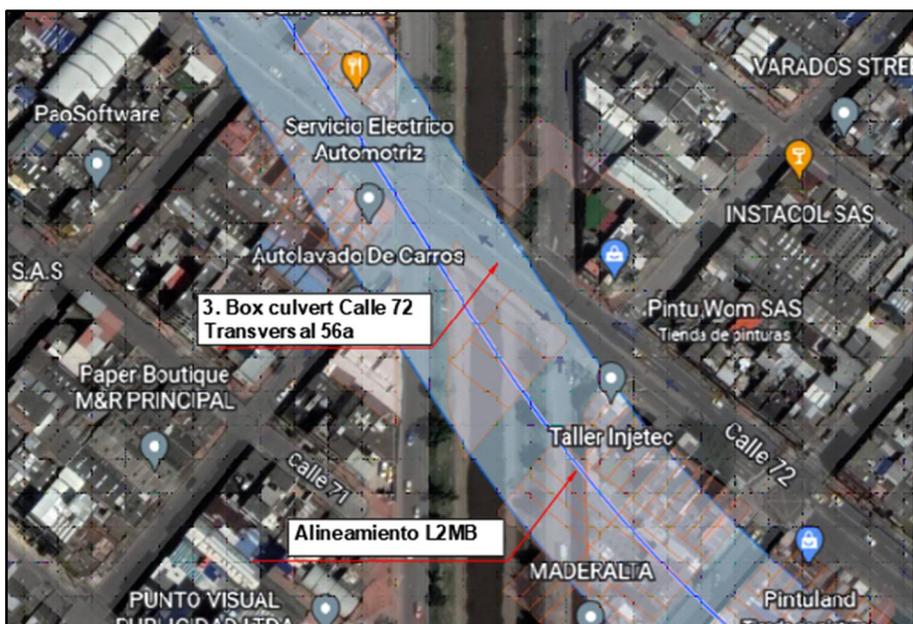


Figura 60. Esquema de localización obra 3
Fuente: Google Maps

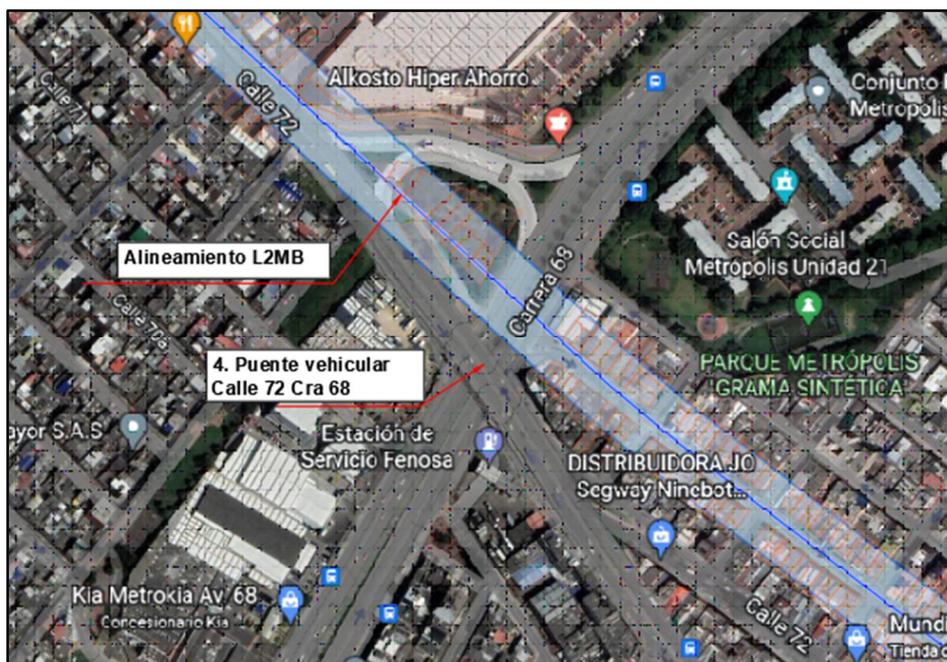


Figura 61. Esquema de localización obra 4
Fuente: Google Maps

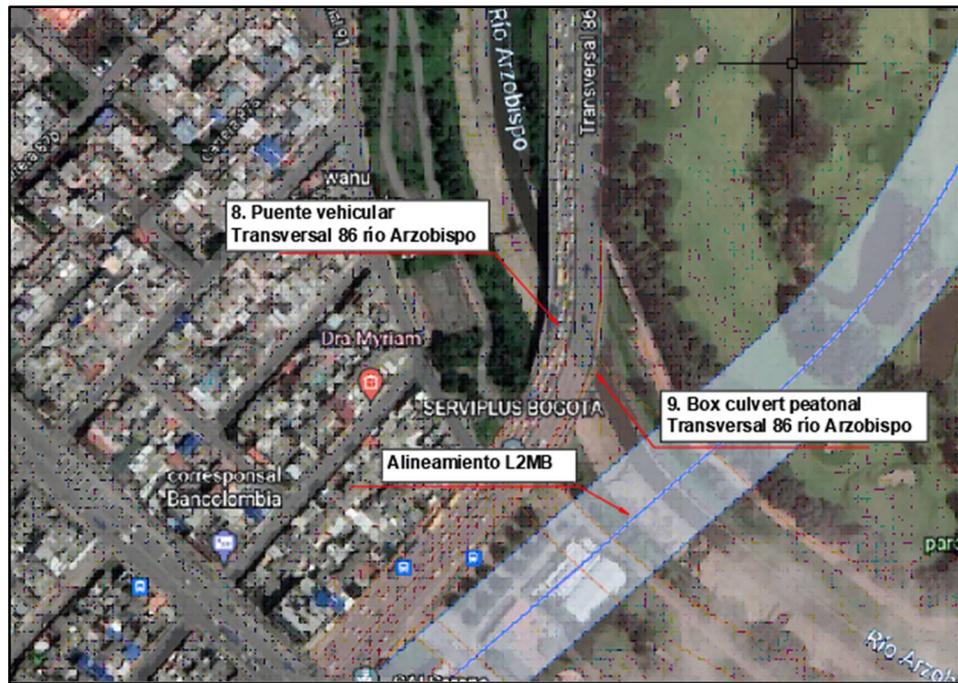


Figura 64. Esquema de localización obra 8 y 9
Fuente: Google Maps



Figura 65. Esquema de localización obra 10
Fuente: Google Maps



Figura 66. Esquema de localización obra 11
Fuente: Google Maps

Del estado actual de las estructuras ubicadas en las cercanías del túnel se concluyó lo siguiente:

- El problema más frecuente en los diferentes puentes es la colmatación de material vegetal en las juntas de dilatación
- Los accesos peatonales presentan colmatación en las juntas y pérdida de recubrimiento en elementos tales como peldaños y barreras de concreto
- Las barandas metálicas de varios accesos presentan delaminación y corrosión
- La información recopilada en campo en relación con las estructuras existentes cumple con el objetivo de disponer de información básica acerca del estado actual de las mismas. Sin embargo, para la fecha en que se inicie la fase de diseño detallado del proyecto deberá realizarse una nueva inspección visual encaminada a constatar el estado de las obras en ese momento.

Complementariamente a la inspección visual antes descrita, se hizo una búsqueda en el repositorio institucional del IDU con el fin de obtener información en forma de planos, memorias, anexos y fotografías de las obras listadas en la Tabla 23. El resumen de la información encontrada se presenta en la Tabla 24.

Tabla 24. Recopilación de información

Nombre	Información encontrada en el IDU
1. Calle 72 Av. Cra 30 (Puente vehicular)	Planos estructurales del puente, junto con un monitoreo dinámico de la estructura.
2. Calle 72 Av. Cra 30 (Puente peatonal)	Planos estructurales del puente
5. Calle 72 Av. Boyacá (Puente vehicular)	Diagnóstico estructural del puente.
6. Av Cra 86 Calle 80 (Puente vehicular)	Planos estructurales del puente.

Fuente: UT MOVIUS 2022

Los análisis estructurales realizados a las estructuras mencionadas produjeron las siguientes recomendaciones y acciones a tomar en etapa de construcción (Tabla 25):

Tabla 25. Acciones requeridas en estructuras existentes

No. de la obra	Distancia eje puente - eje tunel (m)	Tipología	Recomendación	Acción	Mejoramiento
1. Calle 72 Av. Cra 30 (Puente vehicular)	47,9	Tablero prefabricado sobre vigas postensadas simplemente apoyadas y con tensionamiento externo.	La fuerza cortante estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas considerando sólo el aporte del concreto	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
2. Calle 72 Av. Cra 30 (Puente peatonal)	25,46	Puente metálico tipo Transmilenio	Los elementos soportan la fuerza cortante generada por los asentamientos; sin embargo, dada las limitaciones del modelo, se sugiere reforzar la estructura.	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
3. Calle 72 Transv 56a (Box Culvert)	0	Box Culvert de tres celdas	Con una cuantía asumida de 1 barra número 5 cada 8 cm, la placa inferior del box culvert es capaz de resistir el momento generado por el asentamiento	Conservar	N/A
4. Calle 72 Cra 68 (Puente vehicular)	19,39	Tablero de concreto sobre vigas cajón metálicas simplemente apoyadas	La fuerza cortante estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas considerando sólo el aporte del concreto	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
5. Calle 72	41,14	Tablero de	La fuerza cortante	La obra se conserva;	Mejoramiento mediante

No. de la obra	Distancia eje puente - eje tunel (m)	Tipología	Recomendación	Acción	Mejoramiento
Av. Boyacá (Puente vehicular)		steel deck sobre vigas cajón en concreto de luces continuas	estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas considerando sólo el aporte del concreto	se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
6. Av Cra 86 Calle 80 (Puente vehicular)	62,29	Tablero de concreto sobre vigas postensadas de luces continuas	La fuerza cortante estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas considerando sólo el aporte del concreto	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
7. Av Cra 86 Calle 80 - (Puente peatonal)	0	Puente metálico tipo Transmilenio	Los elementos soportan la fuerza cortante generada por los asentamientos; sin embargo, dada las limitaciones del modelo utilizado, se sugiere reforzar la estructura	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
8. Transversal 86 río arzobispo - canal salitre (Puente vehicular)	43,77	Tablero sobre vigas postensadas simplemente apoyadas	La fuerza cortante estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas considerando sólo el aporte del concreto	La obra se conserva	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting y barrera de micropilotes
9. Transversal 86 río arzobispo - canal salitre (Box Culvert)	43,77	Box Culvert de una celda	La fuerza cortante estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting

No. de la obra	Distancia eje puente - eje tunel (m)	Tipología	Recomendación	Acción	Mejoramiento
			considerando sólo el aporte del concreto		
10. Calle 127 Avenida Ciudad de Cali (Puente vehicular)	57	Tablero sobre vigas cajón de concreto simplemente apoyadas	La fuerza cortante estimada es superior a la capacidad a cortante de las columnas considerando sólo el aporte del concreto	La obra se conserva; se recomienda un mejoramiento del suelo para mitigar los asentamientos	Mejoramiento mediante columnas de Jet Grouting
11. Canal Cafam	-	Canal fabricado con placas de concreto	Simulando una viga en cantilever como el comportamiento de una sección de canal, con una cuantía asumida de 1 barra número 5 cada 50 cm, la placa inferior del box culvert es capaz de resistir el momento generado por el asentamiento	Conservar	N/A

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.11.2. Intersecciones a nivel o desnivel

Para el diseño geométrico de la calle 145 (Av. Transversal de Suba), en la cual va a ser construido el pozo de entrada de la tuneladora, el viaducto y la Estación 11, se tuvieron en cuenta los siguientes lineamientos principales:

- Generación de permeabilidad,
- Conexión desde-hacia la calle 145
- Franjas funcionales útiles para todos los actores viales, incluyendo peatones y ciclistas
- Seguridad vial

A continuación se describe lo previsto en cuanto al reordenamiento vial en calle 145 por efecto de la construcción de las obras antes mencionadas.

3.2.3.11.2.1. Reordenamiento de la calle 145 con carrera 136A

En la intersección de la calle 145 con la carrera 136A se proyecta el cierre del paso directo que permite los movimientos 1 (N-S) y 2 (S-N), debido a que la transición entre el sector elevado y el subterráneo de la L2MB se hará en ese punto específico.

La configuración del trazado vial proyectado en la calle 145 se muestra en la Figura 67.



Figura 67. Trazado proyectado L2MB sobre la calle 145 - Estación 11
Fuente: UT MOVIUS 2022

El proyecto L2MB plantea la construcción de la calle 145 entre la Carrera 136A y Carrera 145. Al respecto, se ha previsto la construcción de una calzada por sentido con dos carriles de circulación cada una, generando nuevos tramos viales que permitan la conectividad a los usuarios de la zona (Figura 68).

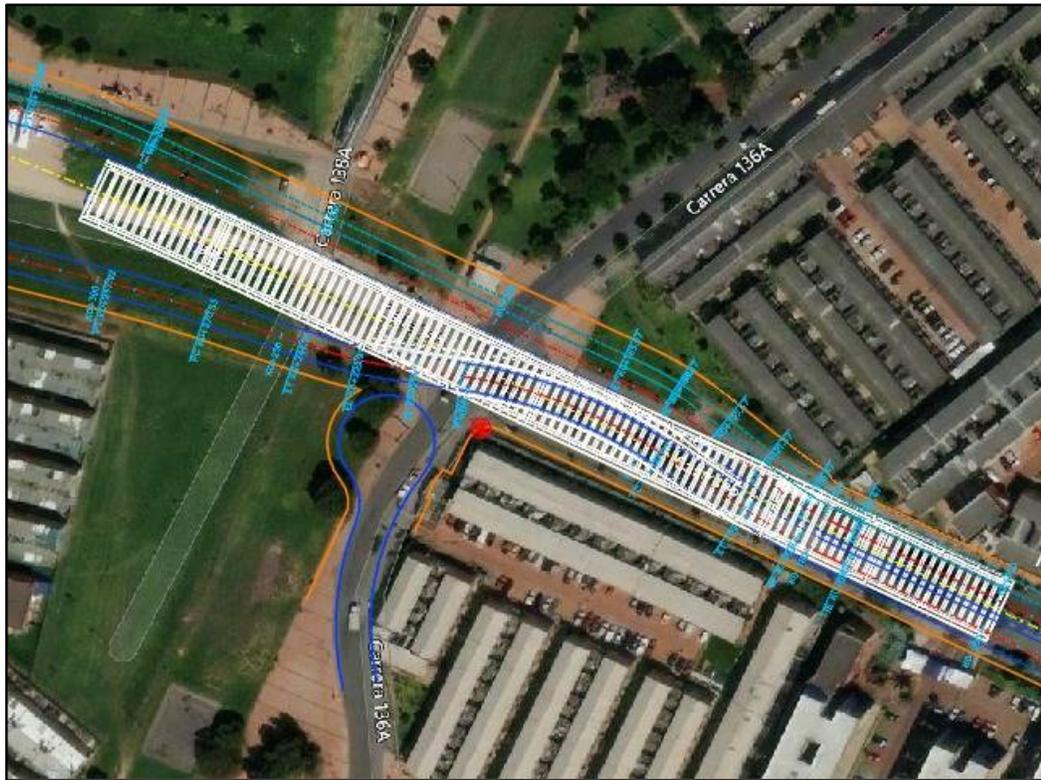


Figura 68. Zona de transición entre viaducto y túnel subterráneo de la L2MB sobre la calle 145 con carrera 136A

Fuente: UT MOVIOUS 2022

Puesto que el flujo vehicular movilizado en la zona es moderado, de 1.275 veh/h analizados en la HMD (17:15 - 18:15) para el día típico, se emplearán vías locales paralelas o cercanas al área de análisis, generando permeabilidad para los usuarios entre los costados norte y sur de la calle 145. Para el reordenamiento vial se plantean dos alternativas de desvío, descritas a continuación:

- Opción 1 - Desvío por la carrera 128 (N-S y S-N)

Esta opción plantea utilizar la carrera 128, cuya continuidad no se afecta por la implantación del proyecto L2MB. De esta forma, los usuarios podrán tomar la calle 144 y la diagonal 146 para trasladarse desde y hacia la carrera 136 A y dirigirse a su destino.



Figura 69. Desvío al norte y al sur por la carrera 128.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Opción 2 - Desvío sobre la calle 145, propuesta geométrica a futuro - Sentido Norte-Sur

La segunda opción solo permitirá el desvío en el sentido norte-sur y consiste en seguir el recorrido habitual por la carrera 136A hasta la calle 145, tomar ésta hacia el occidente y luego hacer un retorno (oriente-oriente) a la altura de la calle 145 con carrera 141B. Para finalizar el recorrido, se empalma con la carrera 136A al sur, como se observa en la siguiente ilustración.

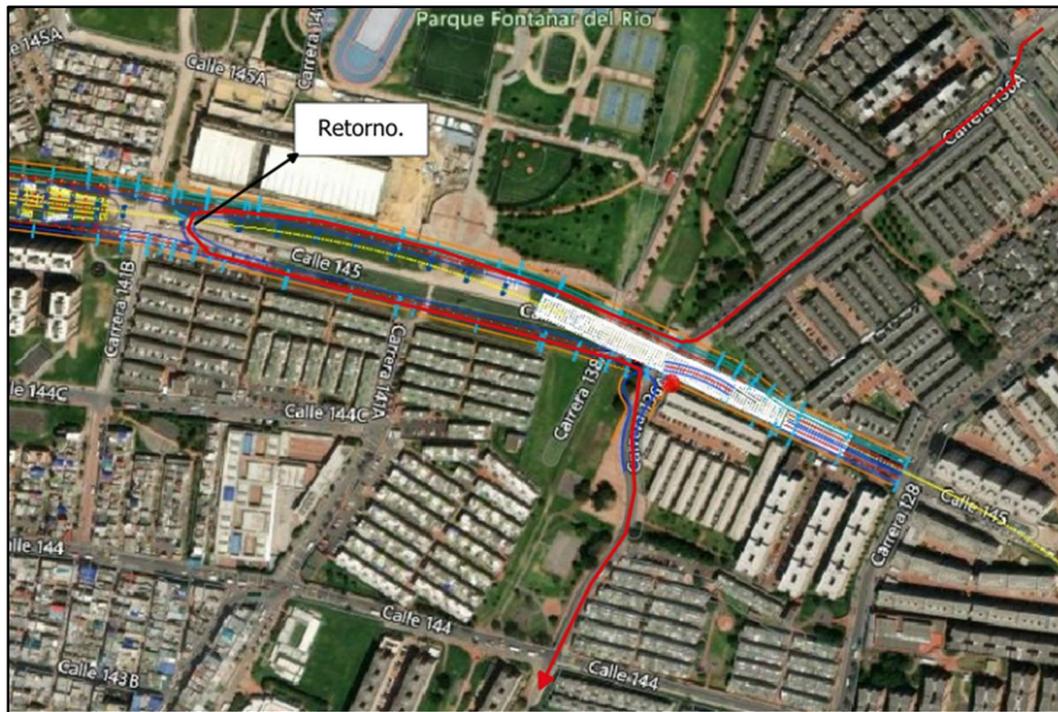


Figura 70. Desvío al sur por el retorno de la calle 145
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.3.11.2.2. Acceso a conjuntos residenciales

Se analizó la futura accesibilidad a los conjuntos residenciales aledaños a la calle 145, los cuales utilizan la carrera 136A como vía de acceso. En ese contexto, se identificaron cuatro unidades residenciales:

- Conjunto Albear de Suba

Para el acceso y salida de este conjunto se seguirá usando la carrera 136A, como se observa en la siguiente imagen:

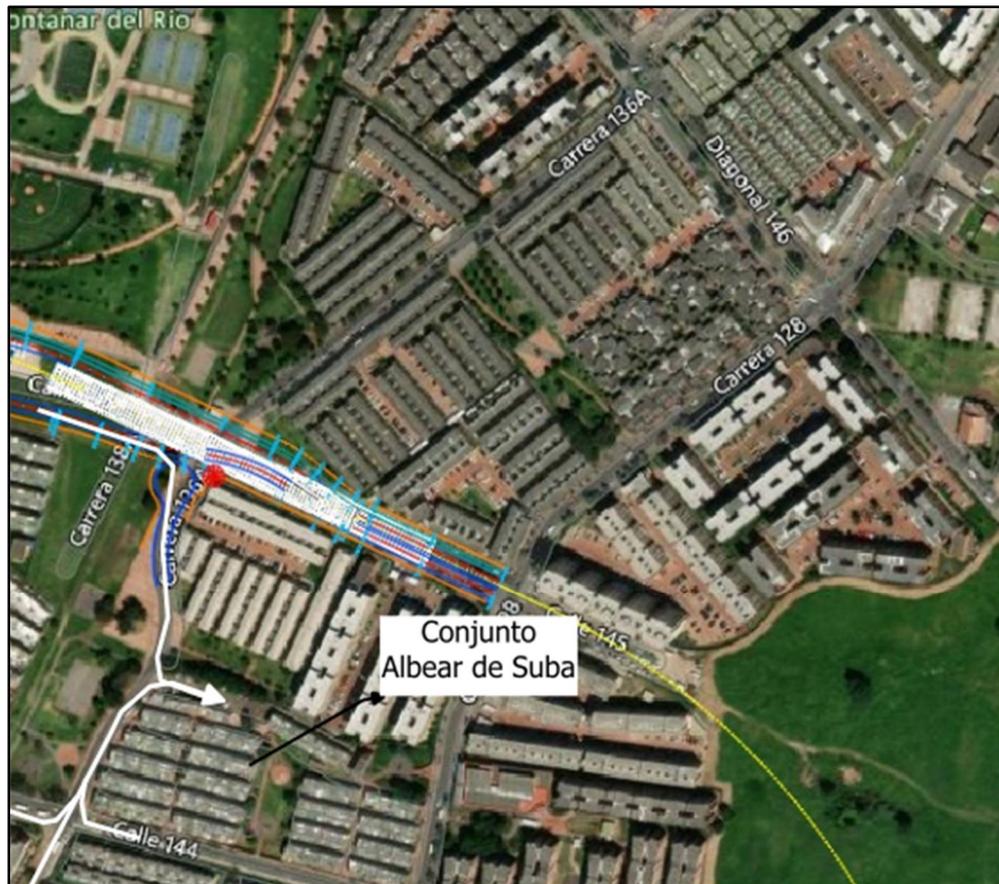


Figura 71. Accesos al Conjunto Albear de Suba

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Conjunto Plazuela San Martín III

Para el acceso y salida de este conjunto se seguirá usando la carrera 136A, como se observa en la siguiente imagen:



Figura 72. Accesos al Conjunto Plazuela San Martín III
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Conjunto Plazuela San Martín IV

Para el acceso y salida de este conjunto se seguirá usando la carrera 136A, como se observa en la siguiente imagen:



Figura 73. Accesos al Conjunto Plazuela San Martín IV
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Conjunto Plazuela San Martín V

Para el acceso y salida de este conjunto se seguirá usando la carrera 136A, como se observa en la siguiente imagen:

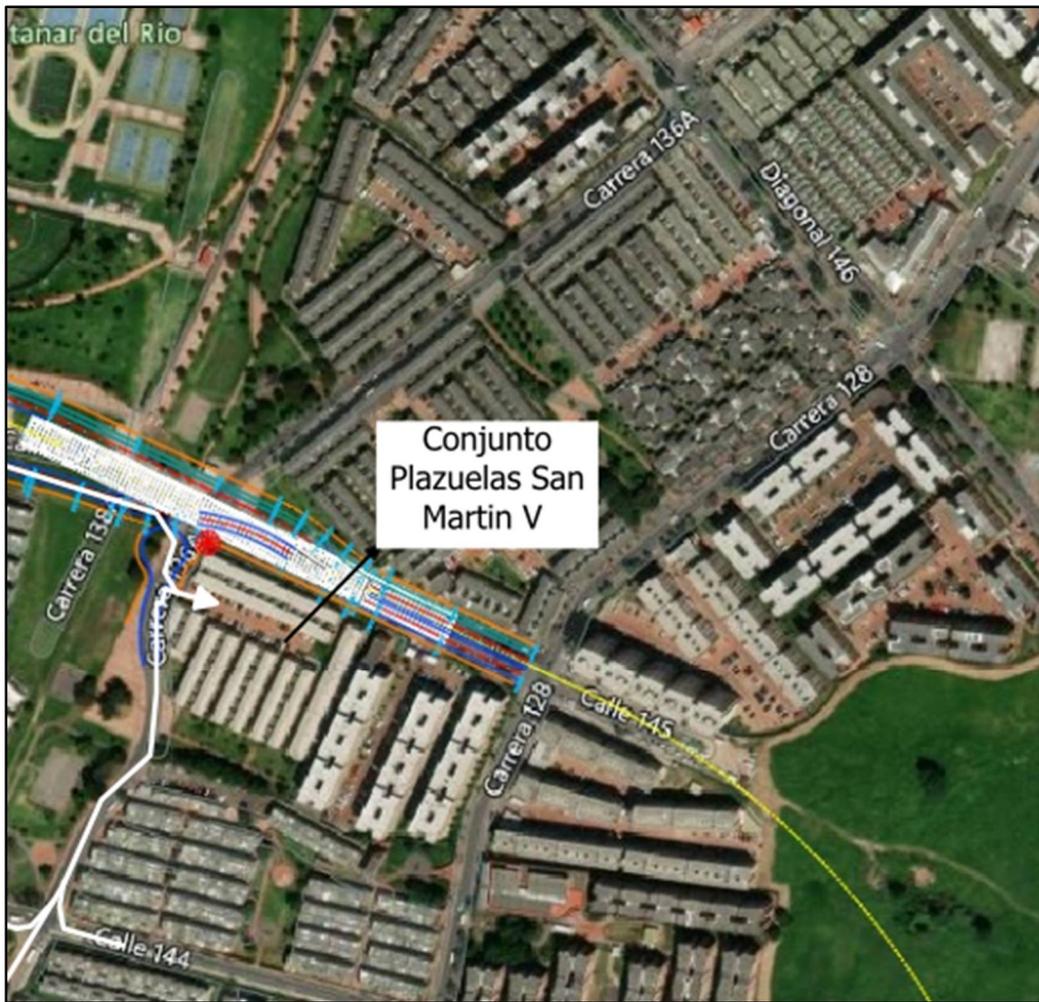


Figura 74. Accesos a Conjunto Plazuela San Martín V
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.3.11.3. Obras urbanas

3.2.3.11.3.1. Puente peatonal Av. NQS con calle 72

Para posibilitar el cruce peatonal sobre la Av. NQS y acceder a la Estación E2, se requiere la implantación de un nuevo puente peatonal ubicado al costado norte del puente peatonal existente. El puente peatonal actual da ingreso a la Estación BRT Av.Chile requiere demolerse para construir los túneles peatonales que igualmente permitirán el ingreso a la Estación E2. La implantación del nuevo puente peatonal se ilustra en la Figura 75.



Figura 75. Implantación puente peatonal Av. NQS con calle 72
Fuente: UT MOVIOUS 2022

La pasarela proyectada tiene una longitud de 186 me y se diseñó tipo plataforma Transmilenio (en lineamiento con la cartilla para puentes peatonales del Instituto de Desarrollo Urbano) con perfiles tubulares metálicos, pendientes en rampas de concreto y acero de 10% para una altura máxima de 7 m sobre el nivel de la rasante con el objeto de proporcionar un gálibo adecuado ante futuros desarrollos de la NQS.

El sistema estructural corresponde a arriostrado concéntrico, tanto en sentido vertical como horizontal. La distribución y dimensionamiento de los apoyos prevé evitar interferencias con la avenida y/o los sistemas enterrados y el futuro Regiotram del Norte. La estructura tiene 10 apoyos de zapatas con dos y tres pilotes de 20 m de longitud, y se divide en tres estructuras para facilitar el proceso constructivo.

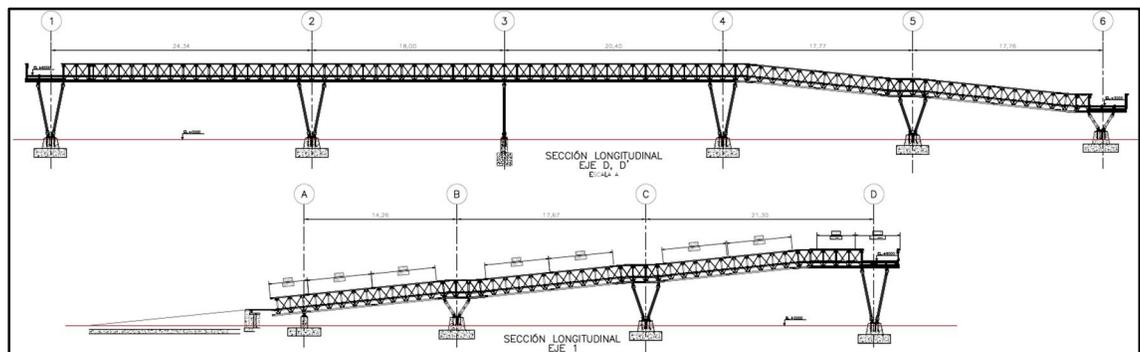


Figura 76. Vista en planta y perfil del puente peatonal sobre la Av.NQS
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.3.11.3.2. Puente peatonal Av. Boyacá con calle 72

Para posibilitar el cruce peatonal sobre la Av. Boyacá desde el costado oriental de la misma hasta la Estación E4, y ante la presencia de la Red Matriz Tibitoc, que recorre la mencionada avenida de norte a sur, se requiere la implantación de un puente peatonal sobre la Av. Boyacá, como se ilustra en la Figura 77.

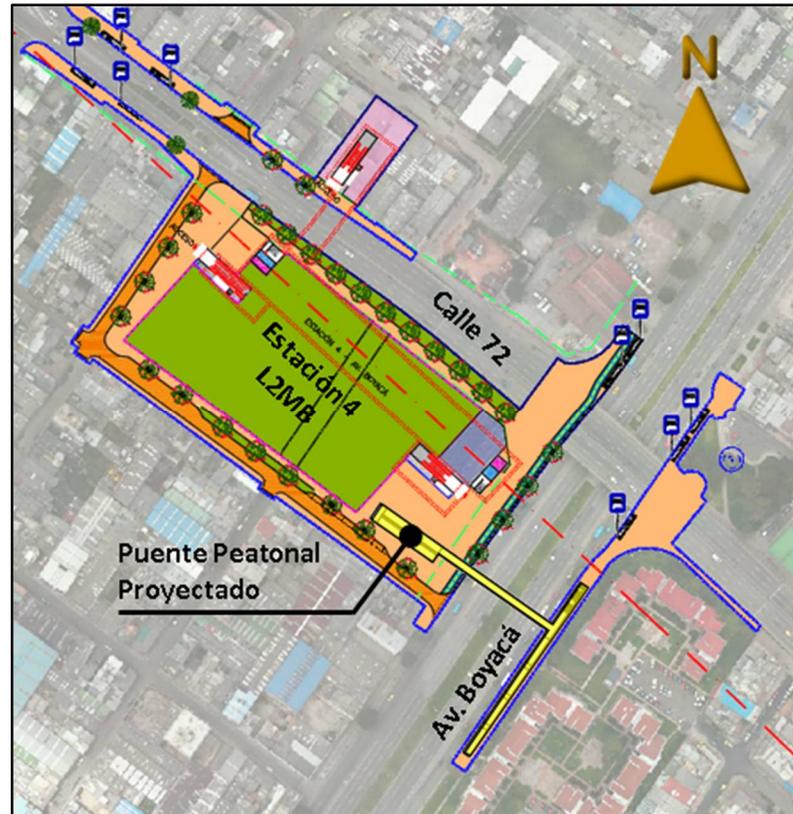


Figura 77. Implantación puente peatonal Av. Boyacá con Calle 72
Fuente: UT MOVIOUS 2022

La pasarela proyectada tiene una longitud de 206 metros y se diseñó tipo plataforma Transmilenio (en lineamiento con la cartilla para puentes peatonales del Instituto de Desarrollo Urbano) con perfiles tubulares metálicos, pendientes en rampas de concreto y acero de 10% para una altura máxima de 6 m sobre el nivel de la rasante.

El sistema estructural corresponde a arriostrado concéntrico, tanto en sentido vertical como horizontal. La distribución de los apoyos prevé evitar interferencias con la avenida y/o sistemas enterrados. La estructura tiene 10 apoyos de zapatas con dos y tres pilotes de 22 m de longitud, y se divide en cuatro estructuras para facilitar el proceso constructivo.

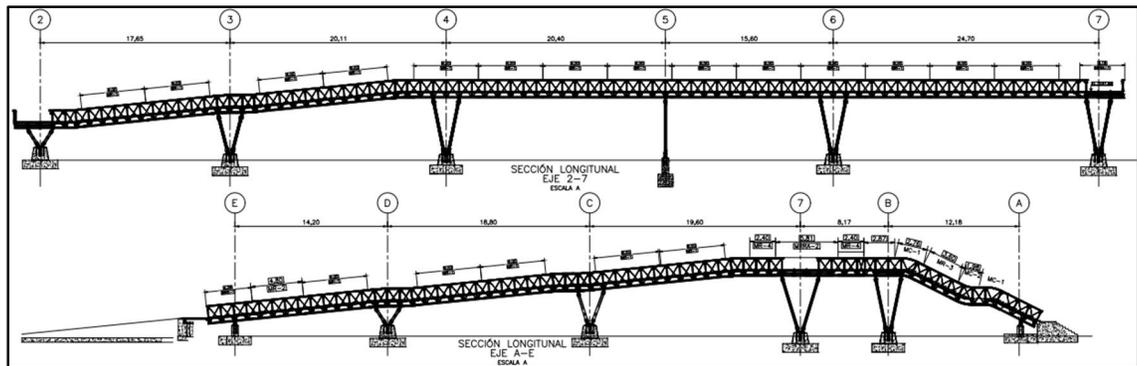


Figura 78. Planta y perfil longitudinal de la pasarela metálica sobre la Av. Boyacá
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.3.11.3.3. Pasarela peatonal Estación 1 (L2MB) - Estación 16 (PLMB)

Para permitir el flujo peatonal entre la PLMB y la L2MB se requiere la implantación de una pasarela peatonal de conexión entre las estaciones 1 (L2MB) y 16 (PLMB), a nivel de Mezzanine +1, como se ilustra en la Figura 79.

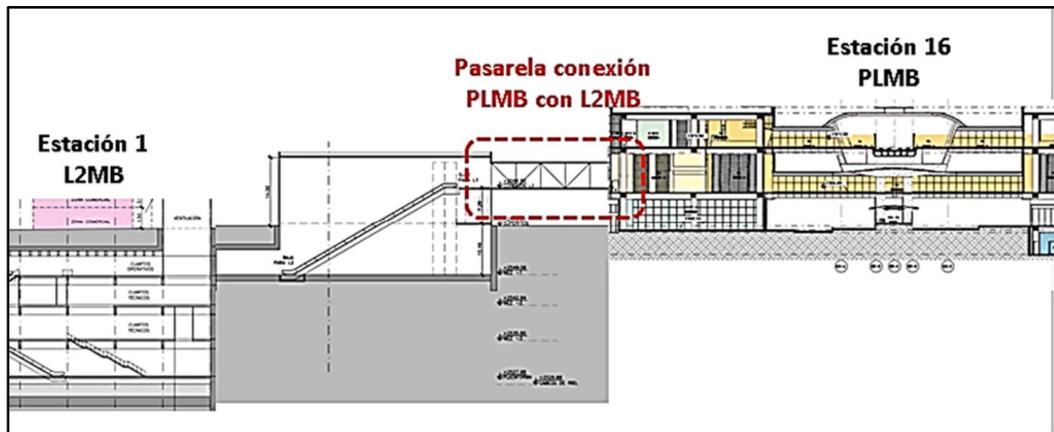


Figura 79. Pasarela peatonal conexión PLMB con L2MB - Vista longitudinal.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

La pasarela está compuesta por una luz de 23 m entre ambas estaciones, con un ancho de plataforma de 15 m. Su sistema estructural será tipo cercha soportado sobre ménsulas de concreto reforzado en ambas estaciones. Este sistema estructural estará compuesto por elementos metálicos de sección tubular redondos. La luz principal entre las estaciones se soportará en cuatro cerchas, dos de ellas en el centro, con dos corredores para circulación libre de 7,5 m. La cubierta será a dos aguas con una pendiente de 3%. El entrepiso se conformará con lámina colorante con losa de concreto de 0,10 m de espesor aproximado, para una altura libre mínima en la pasarela de 2,50 m.

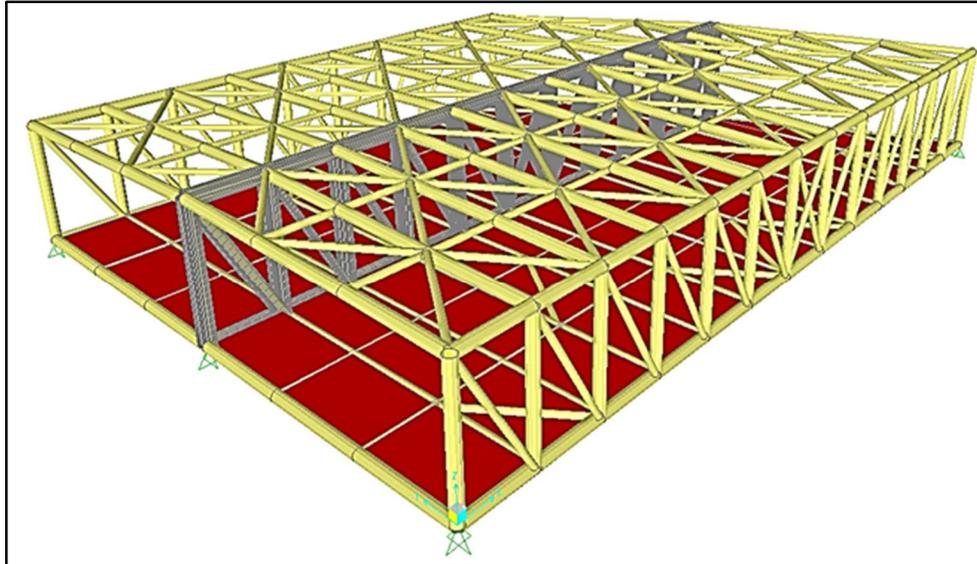


Figura 80. Modelo 3D de la pasarela metálica de conexión de las estaciones 1 (L2MB) y 16 (PLMB)
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.11.3.4. Muro en geobloques calle 145

Partiendo de las consideraciones del diseño geométrico del tramo vial requerido en la calle 145, en el cual se tiene proyectada la rehabilitación y adecuación del corredor vial ubicado entre las carreras 128 y 148, sector sobre el cual estará emplazado el tramo elevado de la L2MB (Figura 81), se han evaluado los aspectos complementarios del mismo, contemplando la construcción de un muro en geobloques que permitirá constituir una rampa de desnivel del trazado geométrico.

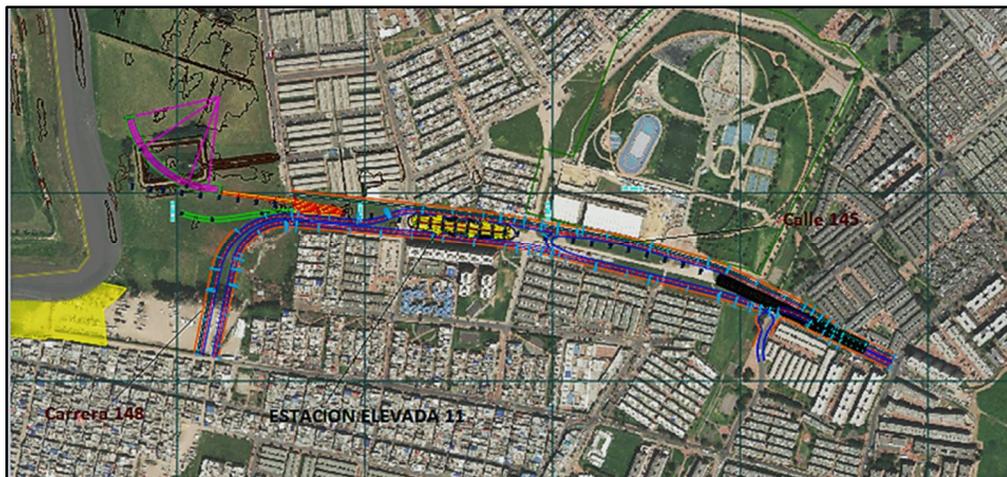


Figura 81. Planta diseño geométrico extensión calle 145
Fuente: UT MOVIUS 2022

Particularmente, para el sector entre las abscisas K0+120 a K0+375 de la calzada sur del trazado vial (sentido W-E), se proyecta un tramo de la vía soportado sobre la tapa superior del pozo de ingreso de la tuneladora, que protege el portal de salida del túnel al viaducto. En este sector la vía llega a alcanzar una cota superior de 2551,5 msnm en la abscisa K0+240. A partir de esta cota empieza una transición hasta una altura 2542,5 msnm, al nivel del terreno actual. En dicha transición la vía alcanza alturas máximas de hasta 5 m.

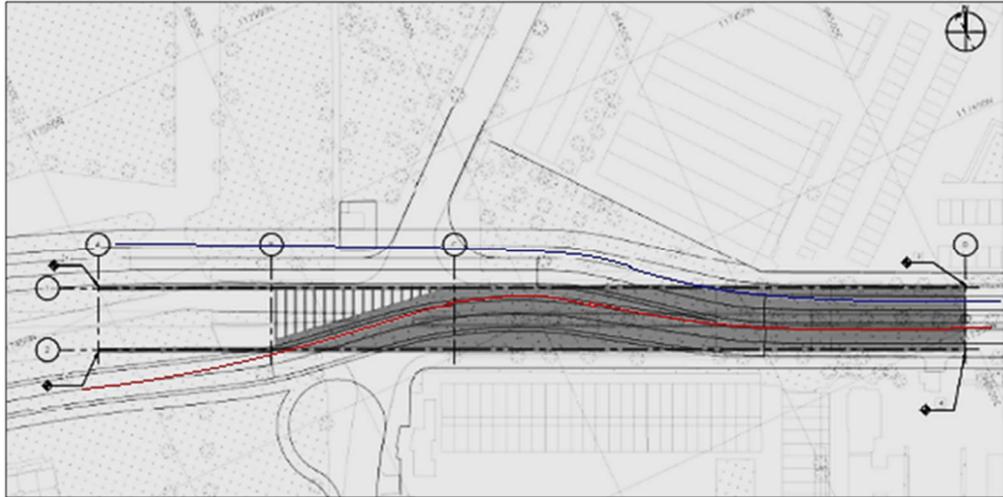


Figura 82. Planta diseño de la transición
(Línea azul calzada norte, línea roja calzada sur)
Fuente: UT MOVIUS 2022

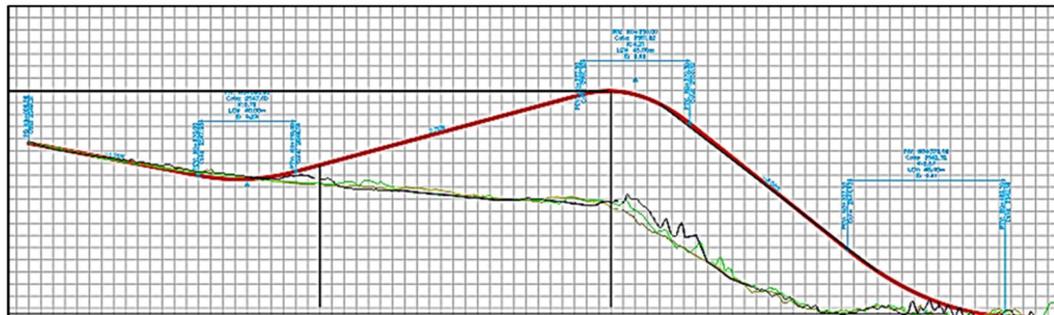


Figura 83. Sección transversal calzada sur
Fuente: UT MOVIUS 2022

Por otra parte, la calzada norte (sentido E-W) requiere una transición menor, debido a que existen menores restricciones de espacio público comparadas con los conjuntos residenciales ubicados en el costado sur. Por esta razón, la vía puede separarse con una menor distancia de la tapa superior del pozo de ingreso al túnel. Para la calzada norte (Figura 84) existe un desarrollo de variación de nivel entre las abscisas K0+085 a K0+260, alcanzando el máximo en la abscisa K0+170 (2549,4 msnm) y empalmando con el terreno en la abscisa K0+260 (2546,1 msnm).

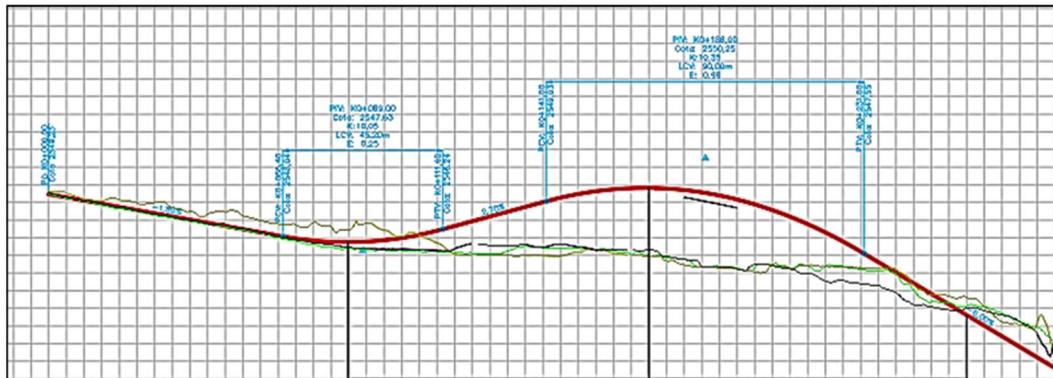


Figura 84. Sección transversal calzada norte
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 85. Vista del sector del pozo de ingreso de la tuneladora en la calle 145
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Figura 86 se presenta el esquema de obras proyectadas de la rampa de aproximación de la calle 145.

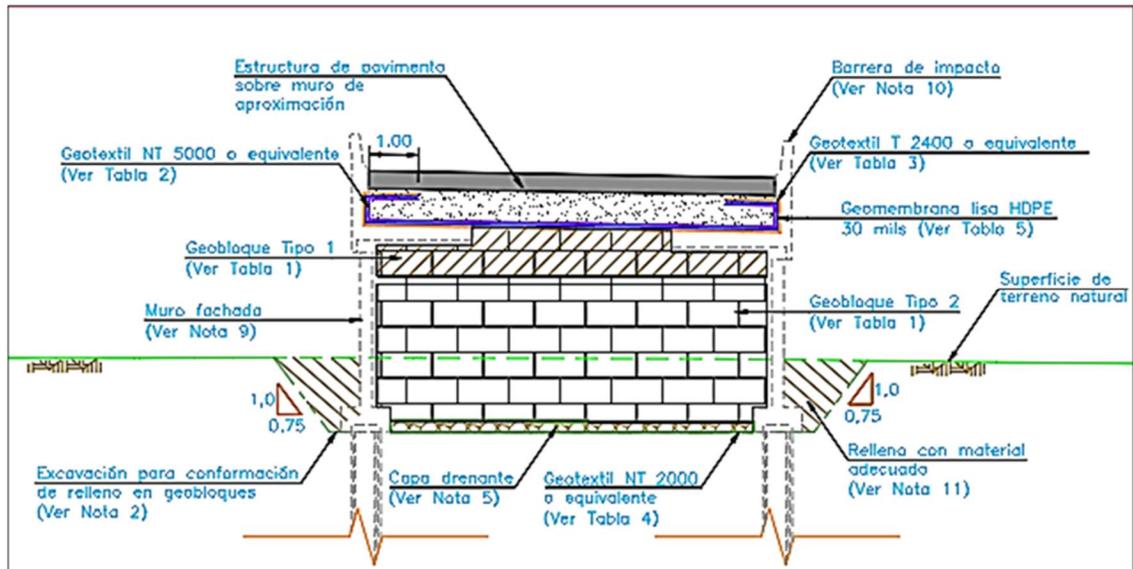


Figura 86. Esquema de obra plataforma de aproximación con geobloques
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.11.4. Cruces con otras obras lineales

Los proyectos identificados en el Área de Influencia Urbana de la L2MB son los siguientes:

3.2.3.11.4.1. Corredor Verde Carrera Séptima

De acuerdo con el Decreto 555 de 2021, la Administración Distrital promueve la ejecución del proyecto Corredor Verde Carrera Séptima, el cual se encuentra dentro de los principios rectores del ordenamiento en el componente urbano. Los diseños de ingeniería de detalle de este proyecto se encuentran en proceso de desarrollo. Dentro los estudios desarrollados a la fecha, se identificó que la intersección del corredor con la Calle 72 es uno de los puntos con mayor volumen de movilidad de personas y por tanto es indispensable generar consideraciones para fortalecer la intermodalidad.

Por lo anterior, para el desarrollo de los diseños de factibilidad del proyecto L2MB se ha tenido en cuenta la información existente de este proyecto en lo que respecta a la conectividad, sin afectar la configuración de la PLMB, que es el proyecto con el que mayormente tiene relación directa.

3.2.3.11.4.2. Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)

La L2MB, respecto al diseño del proyecto Estructuración Técnica del Tramo 1 de la PLMB, se encuentra localizada en inmediaciones a la Estación 16 de esta última, por lo que el diseño se ha armonizado para crear una interacción física constructiva entre estaciones, que favorezcan la movilidad de los usuarios dentro y fuera del sistema.

3.2.3.11.4.3. Construcción del Intercambiador Vial de la Calle 72 con Av. Caracas (Deprimido calle 72)

Consiste en un paso a desnivel que permite el cruce de varias vías para no interrumpir el flujo vehicular. Así, se da continuidad a los flujos directos de la intersección, priorizando la troncal de la Av. Caracas del futuro viaducto para la PLMB.

La calle 72 será un eje de interconexión con todos los puntos cardinales de la ciudad y diferentes modos de transporte, y será la conexión con el corredor verde (Av. Carrera 7) y el sistema BRT. También será la conexión con la futura operación de la PLMB y la L2MB. Por lo anterior, el diseño se ha armonizado de tal manera que se cree una adecuada interacción integral, física y funcional que favorezca la movilidad de los usuarios dentro y fuera del sistema.

Para el desarrollo de los diseños de espacio público se han tenido en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

- Continuidad al espacio público y a la cicloinfraestructura planteada.
- Cruces semaforizados que garanticen los criterios de accesibilidad tanto para peatones, biciusuarios y PMR.
- Conexión peatonal y elementos de señalética tanto del espacio público, estaciones y accesos a estaciones que integren los sistemas de transporte que se conectan en este punto.

Los detalles de esta obra se presentan en el numeral [1.2.1.1.3 Otra Infraestructura existente - Deprimido de la PLMB en Av. Caracas con calle 72.](#)

3.2.3.11.4.4. Ciclo-Alameda Medio Milenio

En la actualidad, y mediante el contrato IDU 1573 de 2020, se encuentra en ejecución el proyecto de Estudios y Diseños de la Ciclo-Alameda Medio Milenio desde el Tunal hasta la Calle 108. Estos diseños vienen siendo desarrollados por el Consorcio Medio Milenio IDE, el cual está conformado por DPC Ingenieros SAS, Ingeniería DF SAS y EPYPSA Colombia.

La Estación E1 de la L2MB se encuentra localizada en cercanías del trazado de esta ciclo-alameda; En consecuencia, en este punto específico se propone una calle de acceso vehicular restringido, por lo que el diseño deberá armonizarse de tal manera que se genere interacción entre la estación y la movilidad de los biciusuarios dentro y fuera del sistema.



3.2.3.11.4.5. Transmilenio Avenida Carrera 68

Los estudios y diseños a nivel de Fase III para la adecuación y construcción de andenes y ciclorrutas de la Troncal Avenida Congreso Eucarístico: Carrera 68 desde la Autopista Sur (Calle 45A Sur) hasta la Carrera 67, y la Calle 100 desde la Carrera 67 hasta la Carrera 7 fueron desarrollados por el Consorcio Consultores Transmilenio, conformado por HMV Consultoría S.A.S.; Consultoría Colombiana S.A. y WSP Proyectos.

La Estación E3 de la L2MB se localiza en el costado occidental del corredor de la Avenida Carrera 68, sobre una zona verde planteada por el Consorcio Consultores Transmilenio y cerca de una estación del BRT. Por lo tanto, en los estudios de la L2MB se hicieron las previsiones necesarias para permitir su armonización con los diseños ya finalizados de la mencionada Troncal.

3.2.3.11.4.6. Transmilenio Avenida Ciudad de Cali

Los 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 fueron desarrollados por el Consorcio Troncales Bogotá, conformado por INGETEC Ingeniería & Diseño S.A. e INGETEC S.A.

Las estaciones E5, E6, E7 y E8 de la L2MB se localizan dentro del Límite de Diseño establecido en los diseños del corredor de la Avenida Ciudad de Cali. Por lo tanto, en los estudios de la L2MB se hicieron las previsiones necesarias para permitir su armonización con los diseños ya finalizados de la mencionada Troncal.

Para la Estaciones E7 y E8, teniendo en cuenta las indicaciones de la FDN, EMB e Interventoría, se generaron soluciones funcionales adaptadas a la ciudad actual, previendo la no afectación con bocas de acceso en áreas de reserva vial.

3.2.3.11.4.7. Conexión Regional Canal Salitre y Río Negro

Los estudios y diseños a nivel de factibilidad de la Conexión Regional Canal Salitre y Río Negro desde el Río Bogotá hasta la NQS y la Carrera 7 fueron desarrollados por la Unión Temporal Integral - Esfinanzas, conformada por Integral S. A. y Esfinanzas S. A.

Parte de la Estación E7 de la L2MB se desarrolla sobre la Av. Morisca e intersecta con la Av. Ciudad de Cali. Se requiere que en etapa de estudios y diseños del Proyecto Canal Salitre, éste se adapte a las necesidades funcionales de la L2MB, por ser este último un proyecto de transporte masivo de jerarquía funcional para la ciudad.

3.2.3.11.4.8. Ciudadela Educativa y del Cuidado

La Ciudadela Educativa y del Cuidado dispone dos Áreas de Integración Multimodal (AIM) donde se encuentran proyectadas las estaciones E9 y E10 de la L2MB. Esta actuación estratégica pretende lograr, entre otros, los siguientes objetivos:

- Promover el aprovechamiento del espacio público.
- Aportar al déficit de equipamientos.
- Desarrollar entornos urbanos mixtos y sostenibles desde lo ambiental, funcional y socioeconómico, con la revitalización de áreas consolidadas.
- Fortalecer los tejidos económicos locales con calles comerciales.

El proyecto de la Ciudadela Educativa y del Cuidado se estructurará en torno a dos ejes fundamentales:

1. Un corredor verde.
2. Una propuesta de equipamientos públicos enfocados en la educación y el cuidado.

La propuesta, tanto del corredor verde como del clúster de equipamientos, se desarrollará al interior de la actual Reserva Vial de la ALO Norte, incluyendo predios públicos, en su mayoría vías, que colindan con la reserva y que se incorporan al proyecto para garantizar una respuesta integral, articulada a los sectores que beneficiará el proyecto.

Con esta premisa, y con base en la información obtenida en las áreas donde se encuentran localizadas las estaciones E9 y E10 de la L2MB, se proyectará el espacio público necesario para el acceso a cada estación, de tal manera que se articule adecuadamente con los planteamientos realizados para la ciudadela en la fase de Perfil.

3.2.3.11.5. Cruces de cuerpos de agua

El túnel pasa bajo de los siguientes cuerpos de agua, a las siguientes profundidades de su clave:

- El canal Arzobispo en la calle 72 con transversal 56a, a una profundidad de 21,04 m.
- La tubería de la red matriz del acueducto de Bogotá en la Av. Boyacá, a una profundidad de 18,63 m.
- El canal Salitre en la Av. Ciudad de Cali y diagonal 91, a una profundidad 16,27 m .
- Los lagos del Club Los Lagartos entre las estaciones E7 y E8, a una profundidad variable entre 18,8 y 27.7 m,
- El brazo del humedal Juan Amarillo Tibabuyes en la Av. Ciudad de Cali con Carrera 100, a una profundidad del vaso de 22.15 m
- El canal Cafam en predios de la ALO con calle 142, a una profundidad de 21.90 m.

Se ha establecido que a tales profundidades, la construcción y operación del túnel no generará conflictos con los mismos.

3.2.3.11.6. Obras en zonas no urbanas o fuera del perímetro urbano

La totalidad de las obras de la L2MB se construirán dentro del perímetro urbano de la ciudad de Bogotá. Sin embargo, las zonas de préstamo y los botaderos podrían estar por fuera del mismo.

3.2.3.11.7. Demás tipos de infraestructura que conforman el proyecto

No se prevén tipos de infraestructura diferentes a los que se describen en el presente documento, a saber:

- Pozos de ingreso y egreso de la tuneladora
- Túnel
- Viaducto
- Estaciones subterráneas
- Estación elevada
- Accesos satelitales
- Pozos de evacuación, ventilación y bombeo
- Patio-taller
- Pasarelas peatonales en Av. NQS y Av. Boyacá
- Pasarelas de conexión Estación E1 (L2MB) - Estación 16 (PLMB)
- Muro en geobloque calle 145
- Vías urbanas intervenidas

3.2.3.11.8. Infraestructura de drenaje

3.2.3.11.8.1. Prolongación Av. Transversal de Suba

Para el proyecto L2MB, la prolongación de la Av Transversal de Suba (calle 145) se realiza en la zona comprendida entre la transición subterránea - elevada del proyecto y la zona del patio-taller. De manera general, la vía proyectada presenta dos calzadas y una configuración similar a la Av Transversal de Suba existente entre las carreras 128 y 136.

El drenaje diseñado en este trayecto se proyectó a partir de los siguientes criterios:

- Se adoptó que el periodo de retorno con el que se calcularán los elementos de drenaje corresponde a 5 años conforme a los periodos de retorno mínimos que establece la norma NS-085
- Para el caso de las zonas urbanas donde se proyectó espacio público; el área aferente a los elementos de drenaje se extendió hasta el límite de la fachada de los predios.
- En relación con la localización de los elementos de drenaje, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos estipulados en la norma NS-047: i) Antes de cruces de vías y zonas de tránsito peatonal, ii) cuando se da una reducción de la pendiente longitudinal de la vía en el sentido del flujo, iii) en puntos bajos y depresiones, iv) en zonas de acumulación de sedimentos y v) hacia los costados de la vía (generalmente pegado a bordillos y zonas de andén) teniendo en cuenta el bombeo transversal de la vía.

- La conexión de la tubería de las estructuras de captación tendrá un diámetro real mínimo de 215 mm, pendiente mínima de 2,0% y longitud máxima de 25 m.
- Las anteriores características técnicas mencionadas garantizan que la conexión del sumidero tiene la capacidad hidráulica suficiente para el transporte del agua proveniente de escorrentía.
- La localización y espaciamiento de sumideros tiene como finalidad garantizar que no se sobrepasen los anchos máximos de inundación admisibles ni se acumule una lámina de agua que sobrepase la altura de sardinel, tal como lo estipula la norma NS-047.

El sistema de drenaje de la prolongación de la Av Transversal de Suba captará el agua de escorrentía mediante una serie de estructuras tipo sumidero que se conectarán a una red de tuberías proyectada exclusivamente para el drenaje de la vía, que descargará en el colector Compartir-Yolanda para no llevar caudales y volúmenes adicionales al pondaje Fontanar. El drenaje vial propuesto presenta la configuración mostrada en la Figura 87.

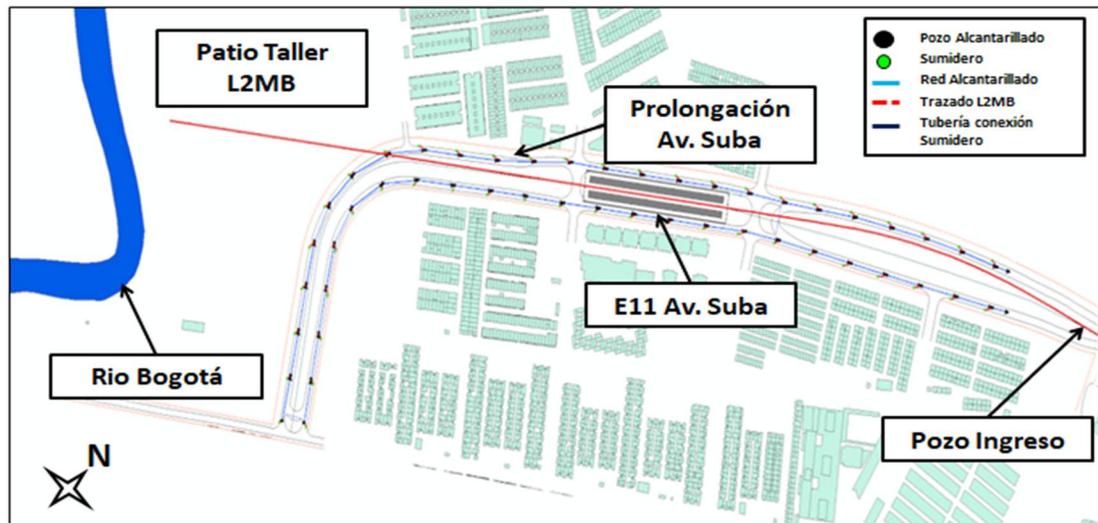


Figura 87. Esquema general drenaje vial prolongación Av. Transversal de Suba

Fuente: UT MOVIOUS 2022

Para el drenaje vial de la prolongación de la Av Transversal de Suba se proyectaron aproximadamente 2.000 m de tubería con diámetros variables entre 0,30 m y 0,60 m, y 43 sumideros y cerca de 840 m de conexiones de sumideros de diámetros de 0,25 m.

3.2.3.11.8.2. Zona de transición Av. Transversal de Suba

Aparte de la proyección del drenaje del diseño geométrico anteriormente descrita, en la zona de transición entre la parte subterránea y el viaducto de la L2MB se cuenta con una zona de andén que requiere una solución de drenaje particular, toda vez que se tiene disponible un espacio de tan sólo 3,5 m dispuesto entre

la proyección de la Av Transversal de Suba sobre el pozo de ingreso de la tuneladora y el cerramiento de un conjunto residencial, como se observa en la Figura 88.

Al tenerse una zona de andén de 150 m de largo, se planteó el uso de cinco módulos de 2 m de longitud de elementos tipo reja monolítica conectados a cajas de inspección de 0,6 m x 0,6 m (Figura 89) que a su vez se conectan a una tubería de 0,30 m diámetro que descargará el agua proveniente de escorrentía a la red troncal pluvial que discurre en la carrera 136 en sentido sur-norte.

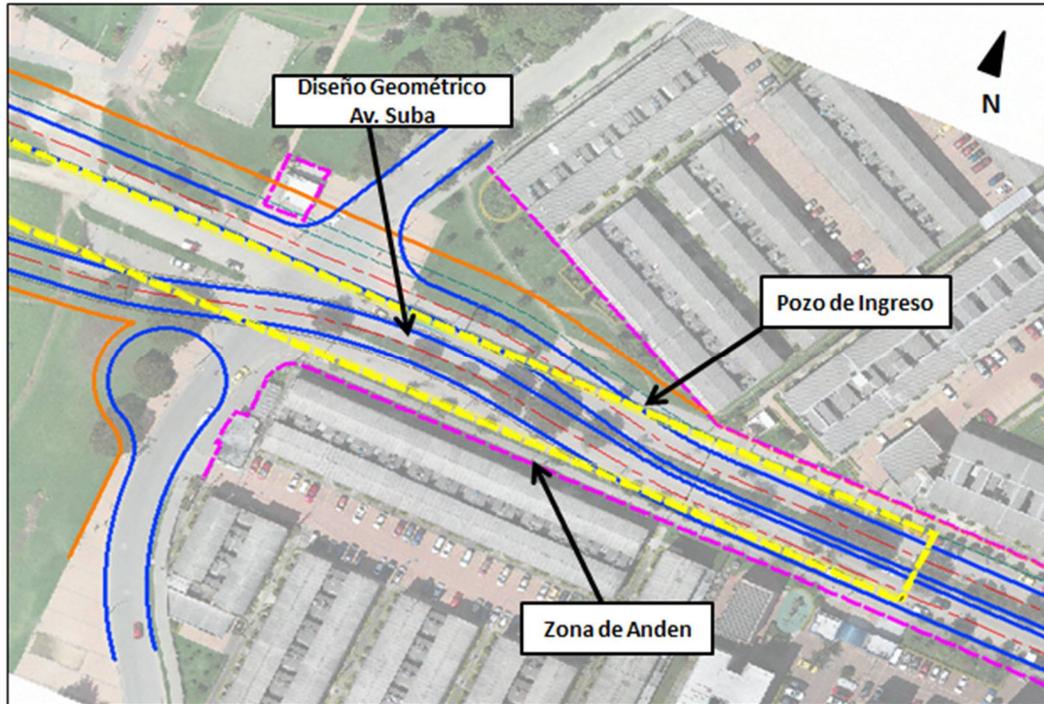


Figura 88. Drenaje transición en zona de andén
Fuente: UT MOVIUS 2022

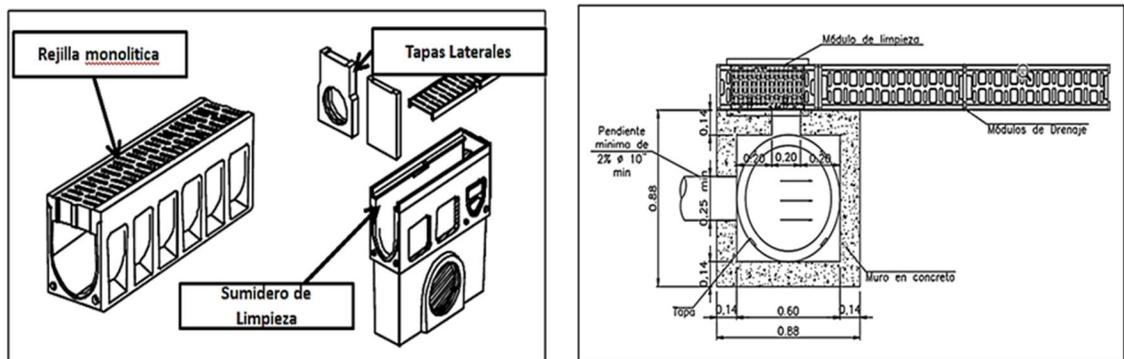


Figura 89. Elemento de drenaje tipo rejilla monolítica drenaje andén
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.11.8.3. Drenaje del túnel

El drenaje del túnel de la L2MB tiene como función principal la recolección, conducción, almacenamiento y bombeo de caudales provenientes de un escenario de funcionamiento de tres hidrantes en tramos interestación.

El sistema de drenaje del túnel se proyectó a partir de los siguientes criterios:

- El sistema de drenaje del túnel se encuentra dimensionado para el bombeo de un escenario de uso de tres hidrantes interestación, funcionando al tiempo durante un periodo de 30 min (NTC 1669).
- Tomando en consideración que los pozos de drenaje y evacuación son edificios cubiertos y que las estaciones cuentan con su propio sistema de drenaje, no se consideran aportes pluviales adicionales.
- El agua proveniente del escenario de activación de hidrantes se recoge en un pozo situado en el nivel inferior de los pozos de ventilación, evacuación y drenaje.
- A lo largo del túnel, entre las zonas de estación, se proyectaron canaletas laterales que descargan a un colector central en cajas espaciadas cada 100 m.
- El material de la tubería del colector central es de PVC de pared doble.
- Los sistemas de bombeo del drenaje del túnel de la L2MB cuentan con elementos de bombeo principales y unidades de respaldo.
- La tubería impulsora de los sistemas de bombeo es de acero galvanizado..
- La tubería de descarga y conexión a la red urbana está provista de una estructura de quiebre de presión que garantiza una descarga al sistema de redes externas a presión atmosférica.

Para habilitar el drenaje se proyectaron una serie cunetas laterales que se encargarán de captar el agua del escenario planteado de activación de hidrantes, las cuales conectan a cajas recolectoras centrales y que a su vez descargan a un colector central de PVC doble pared que lleva el agua hasta el punto bajo del tramo interestación, como se muestra a continuación (Figura 90 y Figura 91).

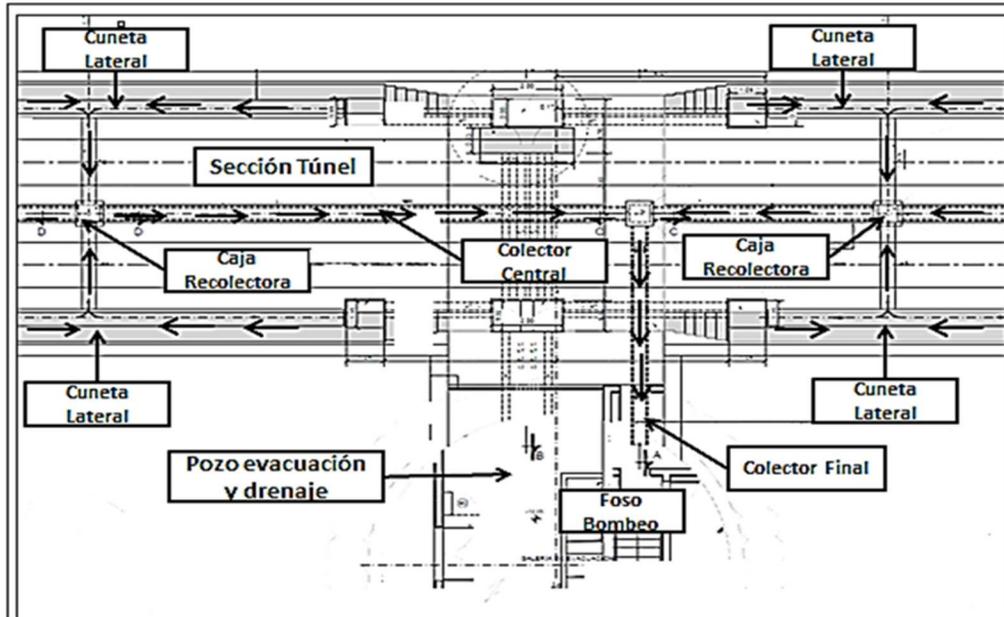


Figura 90. Planta drenaje túnel L2MB
Fuente: UT MOVIUS 2022

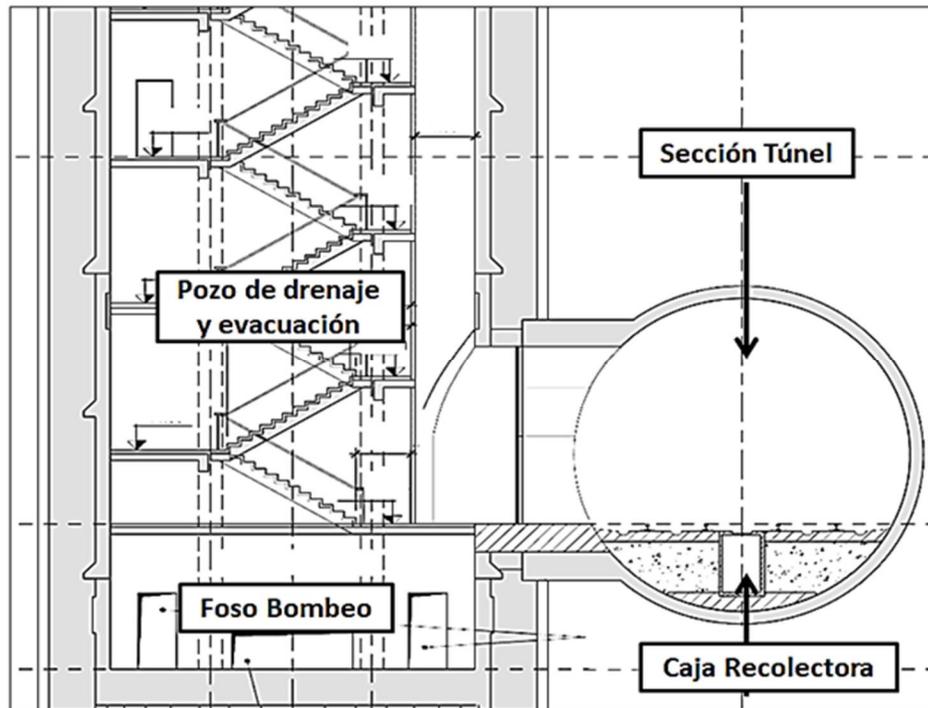


Figura 91. Alzada pozo de ventilación, evacuación y bombeo
Fuente: UT MOVIUS 2022

Una vez el agua por drenarse llega al punto bajo del tramo interestación, es conducida a un foso de bombeo localizado en la parte inferior del pozo de ventilación, evacuación y drenaje, para posteriormente ser bombeada a la red de alcantarillado urbana (Figura 92).

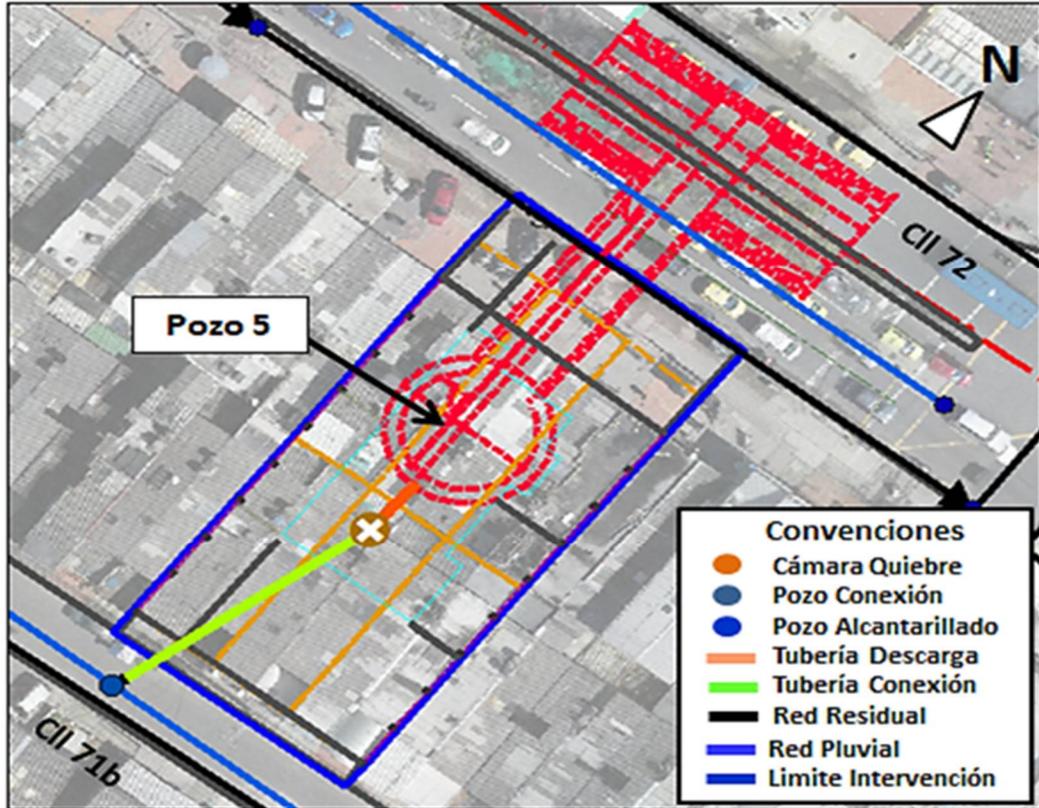


Figura 92. Esquema de conexión del pozo de drenaje a red urbana (Ejemplo)
Fuente: UT MOVIUS 2022

El diseño geométrico de la L2MB contempla la proyección de nueve pozos de drenaje. En la Tabla 26 se muestra su localización y la longitud aferente entre estaciones para el agua que requiere ser drenada.

Tabla 26. Abscisas de puntos bajos interestación y longitudes aferentes a pozos de drenaje

Pozo	Abscisa	Longitud aferente (m)
POZO DRENAJE 1	K1+520	1330,4
POZO DRENAJE 2	K2+975	1611,5
POZO DRENAJE 4	K4+750	1295,9
POZO DRENAJE 5	K5+970	980,6
POZO DRENAJE 6	K6+990	1040,6

Pozo	Abscisa	Longitud aferente (m)
POZO DRENAJE 7	K8+250	1429,3
POZO DRENAJE 8	K9+670	1431,5
POZO DRENAJE 9	K11+130	1210,6
POZO DRENAJE 10	K12+570	871,2

Fuente: UT MOVIUS 2022

Los caudales estimados por el evento de activación de hidrantes en el túnel, las diferencias geométricas entre pozos de drenaje y pozos de alcantarillado de red urbana, y las longitudes de conexión a esta última se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Caudal infiltrado y diferencia geométrica en pozos de drenaje L2MB

Abscisa	Pozo	Almacenamiento y bombeo	Fondo pozo drenaje	ID. pozo alcantarillado	Fondo pozo alcantarillado	Longitud conexión urbana
			(msnm)	(msnm)	(msnm)	(m)
K1+520	POZO DRENAJE 1	1 Tanque de 19.00 m ³	2515,79	CMP 58829	2551,93	36,51
		3 bombas de 31.6 l/s@ 40 m				
K2+975	POZO DRENAJE 2	1 Tanque de 19.00 m ³	2507,79	CMP 57480	2547,92	16,47
		3 bombas de 31.6 l/s@ 45 m				
K4+750	POZO DRENAJE 4	1 Tanque de 19.00 m ³	2512,85	CMP 56195	2548,59	36,69
		3 bombas de 31.6 l/s@ 40 m				
K5+970	POZO DRENAJE 5	1 Tanque de 19.00 m ³	2517,62	PMP 64923	2549,29	46,2
		3 bombas de 31.6 l/s@ 35 m				
K6+990	POZO DRENAJE 6	1 Tanque de 19.00 m ³	2515,84	PMP 68571	2549,8	32,23
		3 bombas de 31.6 l/s@ 38 m				
K8+250	POZO DRENAJE 7	1 Tanque de 19.00 m ³	2515,74	PMI 59091	2548,8	24,23
		3 bombas de 31.6 l/s@ 43 m				
K9+670	POZO DRENAJE 8	1 Tanque de 19.00 m ³	2510,24	PMP56566	2549,8	38,54
		3 bombas de 31.6 l/s@ 44 m				
K11+130	POZO DRENAJE 9	1 Tanque de 19.00 m ³	2512,37	PMP107488	2543,8	16,16
		3 bombas de 31.6 l/s@ 35 m				
K12+570	POZO DRENAJE 10	1 Tanque de 19.00 m ³	2520,90	PMC 95088	2544,8	92,02
		3 bombas de 3.1 l/s@ 35 m				

Fuente:UT MOVIUS 2022

3.2.3.11.8.4. Ruptura del jarillón del río Bogotá

De acuerdo con el POT del Decreto 555 de 2021, existe una zona por amenaza de inundación por rompimiento del jarillón del río Bogotá, que para el caso específico de la zona de transición de la L2MB se extiende hasta el K14+530. Esta área se identifica en la Figura 93.

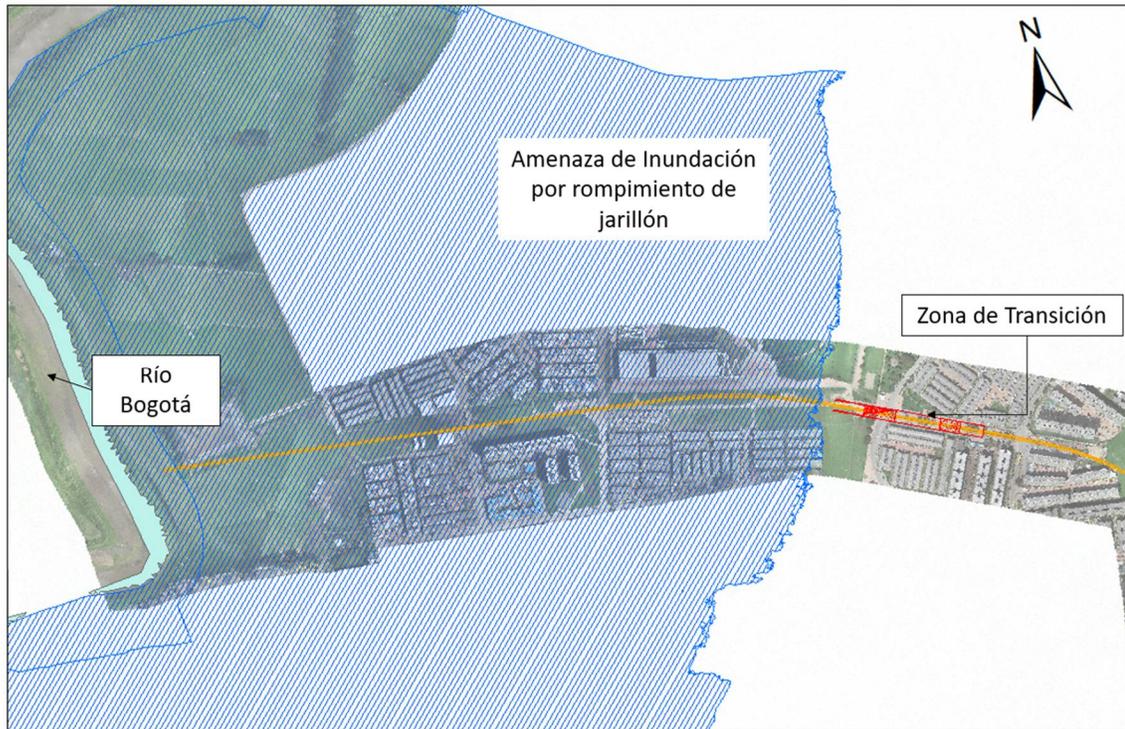


Figura 93. Esquema zona de inundación por rompimiento del jarillón del río Bogotá

Fuente: UT MOVIUS 2022

El sistema de drenaje previsto para el caso de un eventual rompimiento del jarillón del río Bogotá se diseñó con los siguientes criterios:

- En caso de ruptura del jarillón del río Bogotá se garantizará la operación del sistema metro sin generar ningún tipo de afectación a su infraestructura, usuarios, operadores y demás componentes asociados a su funcionamiento..
- Se evitará, por medio de un muro de contención adosado al pozo de ingreso de la tuneladora, que el agua proveniente del río Bogotá ingrese a la zona de transición a causa de una eventual ruptura del jarillón.
- El caudal proveniente de escorrentía sobre el área descubierta de la zona de transición se redireccionará hacia el Pozo de evacuación y drenaje 11, para posteriormente bombearse a la red local de alcantarillado.

- Los sistemas de bombeo del drenaje del Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11 dispondrán de elementos de bombeo principales y unidades de respaldo.
- La tubería impulsora de los sistemas de bombeo será de acero galvanizado.
- La tubería de descarga y conexión a la red urbana dispondrá de una estructura de quiebre de presión que garantice una descarga al sistema de redes externas a presión atmosférica.



Figura 94. Esquema zona de transición y Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11
Fuente: UT MOVIOUS 2022

El agua proveniente de escorrentía sobre el área descubierta de la zona de transición y la estructura de protección anteriormente mencionada será direccionada hacia el interior del túnel hasta el Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11. Una vez el agua llegue a este punto será conducida a un foso de bombeo localizado en la parte inferior del pozo, para posteriormente ser bombeada a la red de alcantarillado urbana.



Figura 95. Planta Pozo No. 11
Fuente: UT MOVIUS 2022

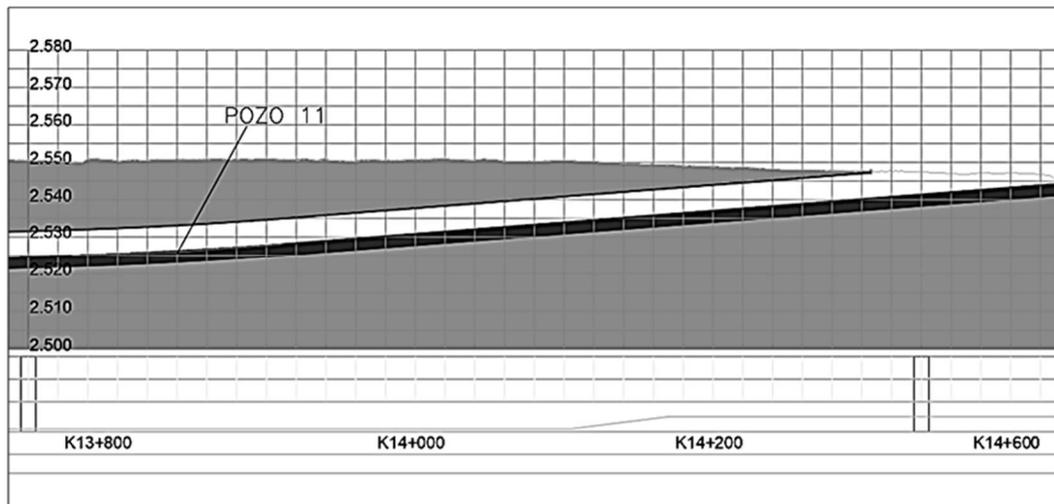


Figura 96. Perfil longitudinal Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 28. Diferencia altimétrica en Pozo de ventilación, evacuación y drenaje No. 11, y longitud de conexión urbana

Abscisa	Pozo	Almacenamiento y bombeo	Fondo pozo drenaje	ID. pozo alcantarillado	Fondo pozo alcantarillado
			(msnm)	(msnm)	(m)
K13+870	POZO DRENAJE 11	2526,2	PMP 47041	2549,8	146,2

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.3.11.9. Cruces de corrientes de aguas superficiales

En razón de la proximidad del patio-taller al río Bogotá, se analizó su nivel de agua con diferentes periodos de retorno, concluyendo que para un periodo de 1.000 años el nivel del agua no sobrepasará la cota actual del jarillón. De esa manera, y previendo posibles asentamientos, la cota del relleno del patio-taller se proyectó 20 cm por encima de la mencionada cota actual del jarillón.

3.2.3.11.10. Necesidades de desvíos y canalizaciones de cauces

El proyecto L2MB no requiere desvíos de cauces ni canalización de los mismos.

3.2.3.11.11. Interceptación de aguas subterráneas

De los aproximadamente 15,5 km de longitud que tiene la línea proyectada, 14,4 km están previstos como metro subterráneo, incluyendo el túnel, las estaciones y los pozos de entrada y salida de la máquina tuneladora.

Las excavaciones necesarias para la conformación del túnel se realizarán con una máquina TBM bajo la tecnología EPB, en la que las presiones en la parte delantera en la máquina tuneladora y el frente de excavación se balancean. Esta tecnología evita que se presenten flujos de infiltración en el frente de excavación. Así mismo, el revestimiento colocado en el túnel a través de dovelas también evita la ocurrencia de infiltraciones hacia su interior. Dadas estas condiciones, **se considera que durante las etapas de construcción y operación no se tendrán procesos de infiltración hacia el túnel**. Esto aplica tanto a los tramos cercanos al humedal Juan Amarillo (aquellos localizados entre las estaciones 7 y 9), como en los demás tramos de túnel a lo largo de su trazado.

En cualquier caso, y como parte del estudio, se realizaron modelaciones hidrogeológicas numéricas encaminadas a evaluar los posibles flujos que pudieran presentarse, con los cuales se corroboró su inexistencia en unos casos, o su reducida magnitud en otros.

Las velocidades de flujo son muy bajas y están asociadas a las características de permeabilidad de los materiales de la sabana, que corresponden típicamente a arcillas con una conductividad hidráulica baja. En efecto, en la zona en la que la L2MB se desarrolla en cercanías del mencionado humedal y en la zona de cruce del brazo Tibabuyes, las formaciones geológicas existentes corresponden a Depósitos de Llanura de Inundación (Qlla) y a Depósitos Lacustres o Formación Sabana (Qta), cuyas unidades hidrogeológicas

asociadas son Acuíferos de Baja Productividad, con sedimentos granulares finos en el primer caso y sedimentos de granulometrías finas en el segundo.

En los dos casos los materiales son de muy baja permeabilidad y de acuerdo con los datos obtenidos de los ensayos de permeabilidad realizados en el marco de la campaña de investigación geotécnica, tienen conductividades hidráulicas que oscilan entre $1,0 \times 10^{-9}$ m/s y $5,0 \times 10^{-11}$ m/s. Estos valores son equivalentes a valores típicos en barreras de baja permeabilidad, las cuales se utilizan para evitar el flujo a través de materiales permeables, como por ejemplo un depósito de arena, que típicamente puede tener valores de conductividad hidráulica del orden de $1,0^{-3}$ a $1,0^{-4}$ m/s.

Como resultado de esta condición de muy baja permeabilidad, el flujo que puede darse a través de los materiales presentes en inmediaciones del humedal Juan Amarillo es prácticamente nulo.

Además de la excavación del túnel, el proyecto contempla las excavaciones de las 10 estaciones subterráneas. El procedimiento básico para la conformación de las mismas prevé la construcción de pantallas en su perímetro, con profundidades del orden de 50 m que se van realizando por tramos.

Considerando lo previsto en cuanto al material con que serán construidas dichas pantallas (concreto reforzado) y los sellos hidráulicos que se instalarán entre los tramos fundidos de las mismas, **en las estaciones no se esperan flujos de infiltración hacia las zonas de excavación.** De igual forma, los materiales de los suelos por excavar en la zona donde quedarán confinadas estas estructuras tienen una permeabilidad muy baja (valores del orden de 1×10^{-9} m/s según las exploraciones realizadas), que hace improbable la ocurrencia de flujos generadores de infiltración.

En la eventualidad de que se presente alguna deficiencia temporal en la impermeabilización de las pantallas y/o una posible filtración por alguna deficiencia en el sello de una dovela del revestimiento del túnel, las filtraciones hacia el túnel tendrían un aporte despreciable debido a la baja permeabilidad del suelo (10^{-9} m/s)

Si durante el proceso de construcción se presentara una filtración de agua hacia el túnel, ésta deberá ser sellada de inmediato. Si lo mismo ocurriera durante la operación, las cuadrillas de mantenimiento también tendrían que sellarlas de inmediato. Es importante aclarar que el túnel cuenta con un sistema de drenaje con una capacidad acondicionada a la activación del sistema contra incendio, que genera un caudal mayor que el caudal que pudiera presentarse como consecuencia de cualquier filtración hacia el túnel.

En las estaciones localizadas en cercanías del humedal Juan Amarillo - Tibabuyes, el material del subsuelo compuesto por arcillas de muy baja permeabilidad es equivalente a tener barreras de baja permeabilidad que evitan la ocurrencia de flujos de infiltración hacia la excavación y la generación de algún efecto nocivo en el humedal. En todo caso, en las estaciones, y en los muros de entrada y salida de la máquina, se ha previsto doble pantalla con un sello especial para evitar filtraciones de agua hacia la estación.

En resumen:

Durante las fases de construcción y operación del proyecto no se esperan flujos de infiltración hacia el túnel o hacia las estaciones, debido a dos factores:

- a) las características de muy baja permeabilidad de los materiales por los que discurre el trazado, y
- b) las características constructivas del túnel y las estaciones, orientadas a evitar el flujo de aguas subterráneas hacia su interior.

En todo caso, existe la remota posibilidad de que durante la construcción de las estaciones se presente alguna deficiencia temporal en la impermeabilización de dichas obras y que al mismo tiempo se encuentren suelos

locales con características diferentes y de mayor permeabilidad a los hallados durante la exploración geotécnica ejecutada como parte del estudio. En tales situaciones extremas ciertamente podrían producirse flujos localizados de infiltración y abatimientos alrededor de las estaciones, pero serían de carácter meramente temporal puesto que los niveles se restablecerían una vez se atendiesen las deficiencias de impermeabilización en la estructura que corresponda.

Para evitar que una eventualidad como esta pudiera llegar a tener algún efecto en los cuerpos cercanos de agua, se procedería a sellar desde la estación, y de manera inmediata, cualquier filtración que se presente.

3.2.4. Infraestructura de geotecnia

3.2.4.1. Taludes previstos en cortes y terraplenes

En el área en donde se localizan las estaciones se requiere conformar una plataforma de trabajo para la construcción de las pantallas preexcavadas y realizar los tratamientos de *jet grouting* para mejoramiento del fondo del suelo y para la construcción de la losa superior de concreto reforzado. Los taludes que se generan por estas excavaciones son de carácter temporal y tendrán alturas menores a 2,5 m, los cuales se protegerán con geotextil y se tenderán con inclinaciones 2H:1V. Si el espacio no lo permite, se utilizarán entibados de madera.

Por otra parte, se realizó un análisis de estabilidad correspondiente a la excavación de los dados de cimentación del viaducto y la Estación E11. Para ello, se modeló la excavación de los dados de apoyo para el viaducto empleando el programa *Slide de Rocscience* con los métodos de *Spencer*, obteniéndose pendientes estables con cortes de taludes 1H:1V. La condición de flujo se controlará durante el proceso constructivo.

3.2.4.2. Obras de geotecnia

3.2.4.2.1. Tramo en túnel

Las obras subterráneas de la L2MB contemplan la construcción de un túnel con características de mono túnel de 10,45 m de diámetro externo, ubicado a una profundidad variable entre 18 y 35 m a su clave, el cual será excavado en la mayor parte de su recorrido (11.94 km) en arcillas de alta plasticidad de depósitos de la Sabana de Bogotá, de origen lacustre, denominados Formación Sabana (Qta) y en cerca de 0,70 km en materiales mixtos, de depósitos aluviales y coluviales, cerca de la zona de piedemonte de los cerros Orientales, al oriente de la Avenida Caracas.

El trazado de las obras subterráneas estará siempre bajo el nivel freático.

Como medio de construcción para el túnel se empleará una máquina perforadora de túneles a sección completa tipo EPB (Earth Pressure Balance), cuyo sistema requiere materiales acondicionantes que deben ser aplicados tanto en la parte frontal de la máquina como en su interior para sortear las condiciones de excavación que se presenten, garantizar la aplicación de presión balanceada en dicha parte frontal y manejar los materiales de excavación para su retiro hacia superficie.

Como ya se mencionó, además del túnel, se construirán 11 galerías subterráneas cortas para conexión del túnel con 11 pozos de evacuación y drenaje, ubicados entre estaciones subterráneas a menos de 760 m en cumplimiento de la Norma NFP130.

Así mismo, se construirán 10 estaciones subterráneas y una elevada, y un pozo de entrada y uno de salida para la máquina tuneladora.

Para reducir asentamientos en superficie y asegurar la estabilidad del túnel, en sitios específicos se realizarán tratamientos de terreno desde superficie mediante inyecciones de *jet grouting*, micropilotes o sistemas similares.

Dentro del túnel, galerías y pozos se instalará un sistema de soporte y/o revestimiento totalmente impermeable. Igualmente, se instalarán sistemas de instrumentación geotécnica para control de subsidencias a lo largo del trazado del túnel, tanto en superficie como en el interior del túnel, e instrumentación para los pozos, galerías y estaciones.

3.2.4.2.1.1. Características

Las características del túnel se presentan en el numeral [1.2.3.8.1 Túnel](#).

3.2.4.2.1.2. Abscisado

El abscisado de las obras subterráneas y superficiales del proyecto es el siguiente:

Tabla 29. Abscisado del proyecto

Inicio	Fin	Abscisa inicio	Abscisa fin	Longitud (m)
POZO DE SALIDA (CRA. 10)		K0+000	K0+022	22,0
Pozo Salida	Estación 1	K0+022	K0+685	663,0
ESTACIÓN 1 (AV. CARACAS)		K0+685	K0+845	160,0
Estación 1	Estación 2	K0+845	K2+189.47	1344,47
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 1		K1+520	K1+520	-
ESTACIÓN 2 (AV. NQS)		K2+189.47	K2+349.47	160,0
Estación 2	Estación 3	K2+349.47	K3+960	1610,53
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 2		K2+975	K2+975	-
Pozo de evacuación y bombeo 3		K3+415	K3+415	-
ESTACIÓN 3 (AV. 68)		K3+960	K4+120	160,0
Estación 3	Estación 4	K4+120	K5+415	1295,00
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 4		K4+750	K4+750	-
ESTACIÓN 4 (AV. BOYACA)		K5+415	K5+575	160,0
Estación 4	Estación 5	K5+575	K6+330	755,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 5		K5+970	K5+970	-
ESTACIÓN 5 (AV. CALI)		K6+330	K6+490	160,0

Inicio	Fin	Abscisa inicio	Abscisa fin	Longitud (m)
Estación 5	Estación 6	K6+490	K7+432	942,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 6		K6+950	K6+950	-
ESTACIÓN 6 (AV. CALLE 80)		K7+432	K7+592	160,0
Estación 6	Estación 7	K7+592	K8+670	1078,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 7		K8+207	K8+207	-
ESTACIÓN 7 (CRA. 91)		K8+670	K8+830	160,00
Estación 7	Estación 8	K8+830	K10+250	1420,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 8		K9+670	K9+670	-
ESTACIÓN 8 (HUMEDAL)		K10+250	K10+410	160,0
Estación 8	Estación 9	K10+410	K11+840	1430,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 9		K11+130	K11+130	-
ESTACIÓN 9 (ALO SUR)		K11+840	K12+000	160,0
Estación 9	Estación 10	K12+000	K13+210	1210,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 10		K12+570	K12+570	-
ESTACIÓN 10 (ALO NORTE)		K13+210	K13+370	160,0
Estación 10	Pozo Entrada	K13+370	K14+280	910,0
Pozo de evacuación, ventilación y bombeo 11		K13+870	K13+870	-
POZO DE ENTRADA (CRA. 129)		K14+280	K14+500	220,0
Pozo Entrada	Estación 11	K14+500	K14+880	380,0
ESTACIÓN 11 (FONTANAR)		K14+880	K15+040	160,0
Estación 11	Patio Taller	K15+040	K15+505.64	465,64

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.2.1.3. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal del túnel se presenta en el numeral [1.2.3.1 Trazado y características geométricas del proyecto](#).

3.2.4.2.1.4. Sección constructiva

La sección constructiva del túnel se muestra en el numeral [1.2.3.6 Presentación de las secciones transversales de cada uno de los perfiles a lo largo del proyecto](#).

3.2.4.2.1.5. Técnica constructiva

El tipo de máquina que mejor se adecúa a las condiciones existentes del terreno para la construcción de la L2MB es una máquina tuneladora con escudo de presión balanceada de tierras o EPB.

Este tipo de escudo se desarrolló inicialmente para resolver el trabajo de excavación de túneles en terrenos arcillosos, procurando lograr un sistema de trabajo continuo, y permitiéndose:

- Estabilizar el frente con un material a presión, que es el propio escombro excavado, una vez convertido con productos de adición en una mezcla de consistencia viscoplástica.
- Lograr que la mezcla tenga la consistencia adecuada para ser transportable por el tornillo sin fin, la cinta y el vagón.
- Lograr que la mezcla de material excavado se pueda extraer sin perder la presión en el frente para garantizar una continuidad del proceso.

Como se mencionó, las máquinas tipo EPB fueron ideadas para excavar suelos arcilloso-limosos y limo-arenosos de consistencia pastosa y blanda, con un contenido de finos superior al 25% - 30%, situados en el área izquierda (celeste) de la Figura 97. La zona señalada con color gris y las flechas indican una extensión del rango de acción de los escudos EPB, posible gracias al acondicionamiento de las propiedades del suelo mediante la adición de aditivos en la cámara que forman una mezcla adecuada. Para lograr esa mezcla es necesario incorporar al escombro del frente suspensiones en agua de arcillas y/o espumas y polímeros en cantidades limitadas que se inyectan al frente y a la cámara, de forma que el aditivo se reparta lo más uniformemente posible.

En otros tipos de suelo puede ser necesario el uso intensivo de otros agentes acondicionadores, como polímeros, agua y espumas. Por lo tanto, con los aditivos adecuados, la máquina EPB puede utilizarse en una gama muy amplia de tipos de suelo.

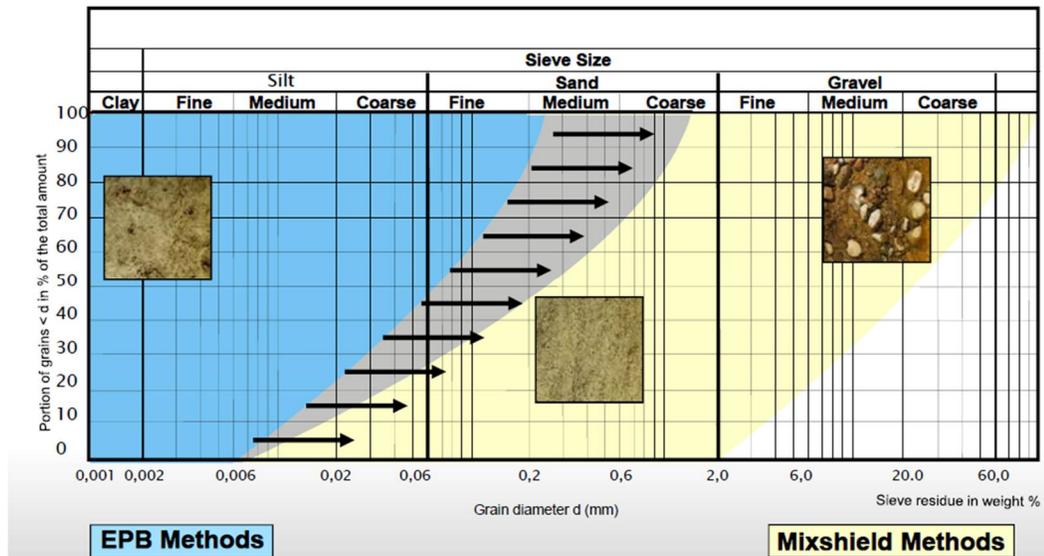


Figura 97. Granulometría de los terrenos y aplicación a los escudos EPB (Tobergte & Curtis, 2013)

Fuente: UT MOVIUS 2022

Los detalles del procedimiento constructivo del túnel se presentan en el numeral [1.2.15 Proceso constructivo del proyecto](#), particularmente en el [1.2.15.1 Túnel](#).

3.2.4.2.1.6. Subsidiencias

Para revisar el efecto en superficie de la construcción del túnel con máquina EPB se aplicaron criterios de análisis de tipo analítico y/o semi empírico, así como modelación numérica.

- **Método analítico**

Los asentamientos que pueden llegar a ocurrir durante el proceso de construcción del túnel se originan en tres factores:

1. Los asentamientos a corto plazo (o inmediatos), provocados por la excavación del túnel.
2. Parte del asentamiento también puede ocurrir por la deformación del revestimiento del túnel.
3. Y otra parte a los asentamientos, a largo plazo, por: (1) la consolidación primaria (que ocurre en suelos cohesivos por disipación del exceso de presión de poro) y (2) a la consolidación secundaria.

Durante el proceso de excavación, el suelo sin apoyo o parcialmente apoyado alrededor del túnel se mueve hacia adentro a medida que se produce el alivio de los esfuerzos. Por lo tanto, siempre será necesario eliminar un volumen de suelo mayor que el volumen teórico del vacío terminado. Este volumen extra excavado se conoce como "pérdida de volumen" (o "pérdida de terreno").

Para efectos de estimar asentamientos con el método analítico se aplicó lo sugerido por Loganathan y Poulos (1998) para el caso de monotúnel. Igualmente, se hicieron comprobaciones con otros métodos, como el de Taylor y Grand (2000). Ambos métodos arrojaron valores similares de la cubeta de asentamientos.

Para el análisis de subsidiencias se adoptaron 36 secciones representativas a lo largo de todo el trazado de la L2MB, enfatizando en los sitios más críticos con miras a definir los pretratamientos necesarios para reducir impactos en superficie.

A manera de referencia, en la Figura 98 se presenta la cubeta de asentamientos para el paso bajo el brazo del Humedal Juan Amarillo, para una profundidad de implantación a clave del túnel de 23,80 m. Según los resultados en este análisis, el asentamiento máximo esperado es del orden de 9 a 11 mm, con una distorsión angular de 0.02% a 0.04%, respectivamente.

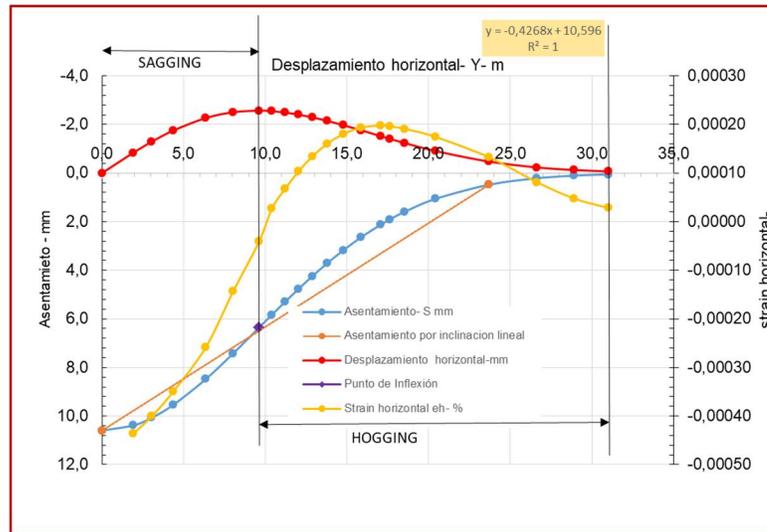


Figura 98. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand
Fuente: UT MOVIUS 2022

Para establecer el efecto de posibles daños o afectaciones en superficie se revisó el criterio de Boscardin y Cording (1989). Para este efecto, en un gráfico se colocaron los valores de los ángulos de distorsión versus el strain horizontal en %.

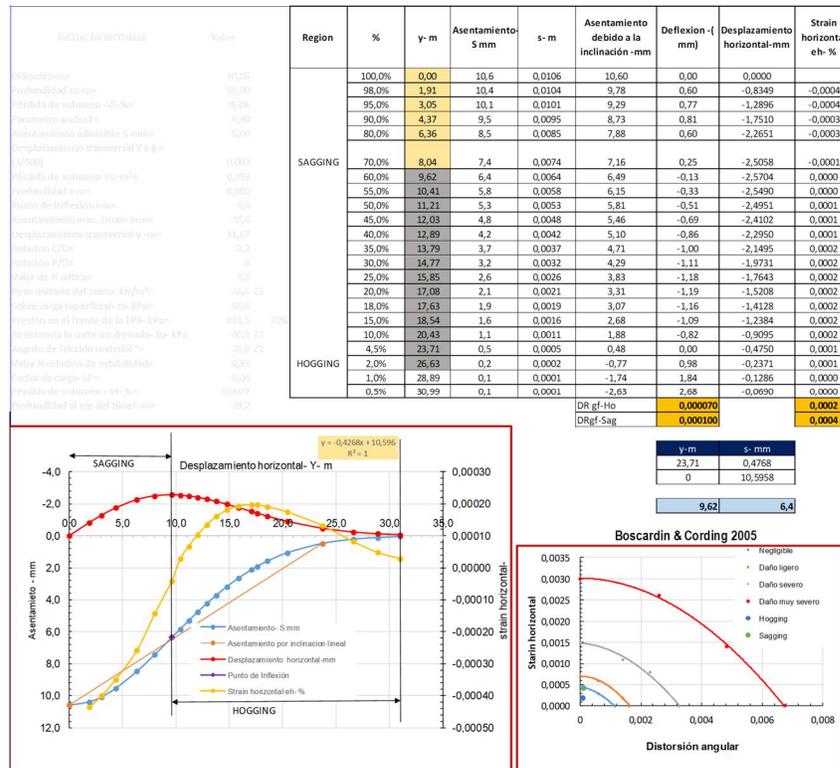




Figura 99. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Brazo Humedal Juan Amarillo

Fuente: UT MOVIOUS 2022

Los resultados de este análisis en el cruce bajo el brazo del humedal Juan Amarillo muestran que el asentamiento máximo esperado para la profundidad de implantación mencionada podría ser del orden de 23 mm, con una distorsión angular en la zona de *sagging* de 0,044% y en el *hogging* de 0,020% respectivamente. **Con estos valores y los máximos *strain* horizontales esperados en ambos tramos de la curva de asientos, se establece que la incidencia de asientos en superficie es baja en esta zona del trazado (Figura 99).**

Para el caso del paso del túnel bajo el brazo del humedal Juan Amarillo, y con base tanto en la información analizada como en las comprobaciones de magnitud de asientos para la profundidad de implantación del túnel en este sector, se aplica la técnica constructiva con una tuneladora tipo EPB (Earth pressure Balance).

El tipo de soporte estará conformado por dovelas prefabricadas de concreto reforzado que se colocan simultáneamente al avance del túnel, las cuales son diseñadas para ser completamente estancas e impermeables.

La máquina está compuesta por un escudo cerrado, con una cámara donde se aplica presión de agua y tierra, balanceada en el frente, con el fin de controlar los desplazamientos. El efecto de soporte y balance de presiones se logra con el material de la excavación, el cual es mezclado con agua o aditivos condicionantes dependiendo del tipo de material por excavar, para formar un lodo de consistencia suave a muy suave que se retira a través de un tornillo sin fin ubicado detrás de la cámara y la cabeza cortadora, para luego ser evacuado hasta la zona de depósito en superficie.

El “*gap*” que deja la cabeza cortadora se rellena con inyecciones de lechada inmediatamente se va avanzado para reducir el efecto de desplazamiento y, en consecuencia, la subsidencia. **Al ser hermético el sistema, se elimina la posibilidad de tener infiltraciones hacia el túnel y en consecuencia efectos en el humedal.** Es importante mencionar, además, que en relación con los bicomponentes utilizados para acondicionar el material de suelo y garantizar la presión en el frente, algunos proveedores garantizan, bajo normas, que estos elementos no generan impactos ambientales.

El método constructivo permite un contrabalance de presiones del terreno y de las aguas, manteniendo la hermeticidad con los escudos de la máquina y con los sellos previstos en los segmentos de los anillos de dovela, **evitando así que se afecte el nivel freático y el desecamiento de las fuentes hídricas superficiales, entre otros.** En el proceso de excavación se utilizan aditivos para el acondicionamiento y corrección de los cambios en la humedad y granulometría del terreno excavado en el frente. Para ese propósito, se emplean espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial.

En la Tabla 30 se resume el estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (*strain* en %) y ángulos de distorsión angular de las 36 secciones representativas analizadas. Si bien los resultados de los análisis de subsidencia muestran baja afectación a lo largo del trazado de la L2MB, se resaltan (en color amarillo) 9 sitios particulares considerados de importancia por la presencia de estructuras, cuerpos de agua o tuberías de la Empresa de Acueducto de Bogotá, que requieren pretratamientos para reducir asentamientos y/o desplazamientos horizontales.

Tabla 30. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

Sección	Abscisa	Causa o problemática	Profundidad a la clave- m	Asentamiento máximo en el eje del túnel - mm	Punto de Inflexión - h - m=	Presión en el frente- kPa	Perdida de volumen estimado. Vt %	Relación de deflexión DRgf. Hogg	Strain horizontal Hogging-%	Tipo de daño en zona de hogging	Relación de deflexión DRgf. Sagg	Strain horizontal Sagging-%	Tipo de daño en zona de sagging
1	14280	Baja cobertura - suelos poco competentes - mejora terreno para el sector contiguo al pozo de entrada	4,00	1,52	1,60	269,25	0,01%	5,95E-05	0,00017	Negligible	8,54E-05	0,000372	Negligible
2	13375	Cruce Canal Cafam-	24,00	9,07	9,60	425,25	0,24%	5,92E-05	0,00017	Negligible	8,51E-05	0,000370	Negligible
3	11800	Estacion Alo sur	25,40	9,50	10,16	436,17	0,26%	5,86E-05	0,00017	Negligible	8,42E-05	0,000366	Negligible
4	11297	Cruce túnel por debajo de edificaciones	28,40	10,46	11,36	459,57	0,32%	5,77E-05	0,00016	Negligible	8,29E-05	0,000361	Negligible
5	11067	Cruce túnel por debajo de edificaciones	22,20	10,08	8,88	419,01	0,24%	7,12E-05	0,00020	Negligible	1,02E-04	0,000445	Ligero
6	11040	Brazo humedal Juan Amarillo	23,80	10,60	9,52	431,49	0,27%	6,98E-05	0,00020	Negligible	1,00E-04	0,000436	Ligero
7	10290	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos	24,80	10,31	9,92	423,69	0,28%	6,51E-05	0,00019	Negligible	9,36E-05	0,000408	Negligible
8	10108	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos	26,50		10,60	436,95	0,31%	6,42E-05	0,00018	Negligible	9,23E-05	0,000402	Negligible
9	8950	Suelos blandos	20,30	8,89	8,12	388,59	0,20%	6,87E-05	0,00020	Negligible	9,86E-05	0,000429	Negligible
10	8895	Canal Salitre - Suelos blandos	18,70	6,65	7,48	391,71	0,13%	5,58E-05	0,00016	Negligible	8,00E-05	0,000349	Negligible
11	8870	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	23,00	9,74	9,20	409,65	0,24%	6,64E-05	0,00019	Negligible	9,53E-05	0,000415	Negligible
12	8847	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	24,90	10,35	9,96	424,47	0,28%	7,37E-05	0,00019	Negligible	9,35E-05	0,000407	Negligible
13	8398	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	29,80	12,04	11,92	462,69	0,39%	7,17E-05	0,00018	Negligible	9,09E-05	0,000396	Negligible
14	7418	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	23,60	9,93	9,44	414,33	0,25%	7,47E-05	0,00019	Negligible	9,47E-05	0,000412	Negligible
15	6737	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	25,50	10,54	10,20	429,15	0,29%	7,33E-05	0,00018	Negligible	9,30E-05	0,000405	Negligible
16	5401	Suelos blandos - paso por debajo de la tubería de 72" de Tibitoc- Av. Boyaca	23,40	9,87	9,36	412,77	0,25%	7,48E-05	0,00019	Negligible	9,49E-05	0,000413	Negligible
17	5259	Suelos blandos	26,30	11,49	11,32	450,99	0,35%	7,20E-05	0,00018	Negligible	9,13E-05	0,000398	Negligible
18	4737	Suelos blandos	33,10	13,40	13,24	488,43	0,48%	7,19E-05	0,00018	Negligible	9,10E-05	0,000397	Negligible
19	4413	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	29,30	11,85	11,72	458,79	0,38%	7,17E-05	0,00018	Negligible	9,10E-05	0,000396	Negligible
20	4004	AV. CRA 68- Puente- Suelos	24,60	10,25	9,84	422,13	0,27%	7,39E-05	0,00019	Negligible	9,38E-05	0,000408	Negligible
21	3557	Av. CRA 68- Edificaciones - paso túnel por debajo - suelos blandos	26,50	10,87	10,60	436,95	0,31%	7,27E-05	0,00018	Negligible	9,23E-05	0,000402	Negligible
22	2983	Suelos blandos	34,90	14,27	13,96	502,47	0,54%	7,25E-05	0,00018	Negligible	9,20E-05	0,000401	Negligible
23	2770	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	29,80	12,04	11,92	462,69	0,39%	7,17E-05	0,00018	Negligible	9,09E-05	0,000396	Negligible
24	2545	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	21,30	9,21	8,52	396,39	0,21%	7,67E-05	0,00019	Negligible	9,73E-05	0,000424	Negligible
25	2480	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	25,10	10,41	10,04	426,03	0,28%	7,36E-05	0,00018	Negligible	9,33E-05	0,000406	Negligible
26	2223	Suelos blandos	23,70	9,96	9,48	415,11	0,26%	7,46E-05	0,00019	Negligible	9,46E-05	0,000412	Negligible
27	2180	Suelos blandos	25,50	10,54	10,20	429,15	0,29%	7,33E-05	0,00018	Negligible	9,30E-05	0,000405	Negligible
28	2070	Av. NQS- Suelos blandos - canal	25,20	10,44	10,08	426,81	0,29%	7,36E-05	0,00018	Negligible	9,32E-05	0,000406	Negligible
29	1900	Suelos blandos	27,40	11,17	10,96	443,97	0,33%	7,24E-05	0,00018	Negligible	9,17E-05	0,000400	Negligible
30	1248	Suelos blandos	28,30	11,49	11,32	450,99	0,35%	7,20E-05	0,00018	Negligible	9,13E-05	0,000398	Negligible
31	625	Estacion 1- Edificaciones - suelos blandos	25,20	10,44	10,08	426,81	0,29%	7,36E-05	0,00018	Negligible	9,32E-05	0,000406	Negligible
32	620	Estacion 1- Edificaciones - suelos blandos	25,20	10,44	10,08	426,81	0,29%	7,36E-05	0,00018	Negligible	9,32E-05	0,000406	Negligible
33	520	Deprimido Abajo Av. Caracas-	26,80	10,97	10,72	439,29	0,32%	7,26E-05	0,00018	Negligible	9,21E-05	0,000401	Negligible
34	400	Deprimido doble - Arriba Av. Caracas	29,20	11,81	11,68	458,01	0,37%	7,18E-05	0,00018	Negligible	9,10E-05	0,000396	Negligible
35	240	Av. Calle 72 - Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	33,40	26,31	13,36	474,33	0,95%	1,40E-04	0,00035	Negligible	1,77E-04	0,000772	Ligero
36	55	Pozo de salida- Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	38,10	29,14	15,24	524,20	1,20%	1,36E-04	0,00034	Negligible	1,72E-04	0,000750	Ligero

Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Método numérico**

Para el análisis por el método numérico se identificaron cuatro cruces críticos de la TBM a lo largo del alineamiento del túnel, considerando su posible baja tolerancia a asentamientos superficiales. En cada cruce se planteó una sección transversal crítica y cada una se modeló mediante el software PLAXIS 2D. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 31. Asentamientos máximos esperados en cruces críticos

Ítem		Profundidad clave del túnel (m)	Asentamiento máximo esperado (mm)
1	PUENTE AV. NQS CON CALLE 72	28.3	11.5
2	CANAL ARZOBISPO	25.1	10.4
3	CANAL SALITRE	18.7	6.7
4	CANAL CAFAM	24.0	9.1

Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Análisis de subsidencia en edificios**

Para estimar la severidad de eventuales daños de las edificaciones presentes a lo largo del trazado se utilizó el criterio expuesto por Boscardin and Cording (1989). Así mismo, para la clasificación de esa probable afectación se emplearon los criterios de Burland (1977), véase Tabla 32, con las siguientes precisiones al respecto:

- El énfasis principal de esta metodología recae en la facilidad de reparación de las fisuras y en una clasificación general del posible daño en la estructura
- El ancho aproximado de las fisuras sólo es un indicador y no una medida directa del daño que puede ocasionarse
- La clasificación de fisuras se desarrolló para muros de mampostería o ladrillo

Tabla 32. Clasificación de los daños producidos en los edificios, adaptado de Burland (1977)

Escala de daño	Descripción del daño	Apertura de la grieta (mm)
Inapreciable	Fisuras de menos de 0,1 mm	< 0,1
Muy ligero	Fisuras que pueden ser tratadas con la decoración. Fisuras aisladas en paredes de ladrillo	1
Ligero	Fisuras fácilmente rellenables. Probablemente precisen re-decoración. Varias fisuras ligeras apreciables en el interior. Las grietas se aprecian externamente, exigiendo un repintado. Las puertas y ventanas pueden sufrir deformaciones ligeras en sus marcos	5
Moderado	Las fisuras requieren un picado y obra de albañilería. Los revestimientos adecuados pueden enmascarar las grietas recurrentes. Posiblemente parte de la fachada de ladrillo requiera	De 5 a 15, o un número de fisuras >3

Escala de daño	Descripción del daño	Apertura de la grieta mm)
	sustitución. Las puertas y ventanas se atascan. Las tuberías y bajantes pueden romperse. Empeora la resistencia del edificio frente a los agentes atmosféricos.	
Severo	Reparación extensiva incluyendo demolición y restitución de porciones de muros especialmente sobre puertas y ventanas. Los marcos de ventanas y puertas se distorsionan y el suelo se inclina apreciablemente, La tabiquería se inclina y abomba. Algunas vigas se descuelgan y las cañerías quedan fuera de servicio	De 15 a 25, pero depende del número de fisuras
Muy severo	Se requiere una gran reparación con reconstrucción total o parcial del edificio, Las vigas se descuelgan,. Se requiere apuntalamiento en muros. Las ventanas revientan por distorsión. Peligro de Inestabilidad.	> 25, pero depende del número de fisuras

Fuente: UT MOVIUS 2022

Se evaluaron 2137 edificaciones ubicadas en la franja en estudio, 50 m a lado y lado del eje ferroviario. Posteriormente, se construyó una gráfica (Figura 100) con los umbrales de daño indicados por Burland (1977) para proceder a hacer los análisis correspondientes, cuyos resultados se presentan en la Tabla 33.

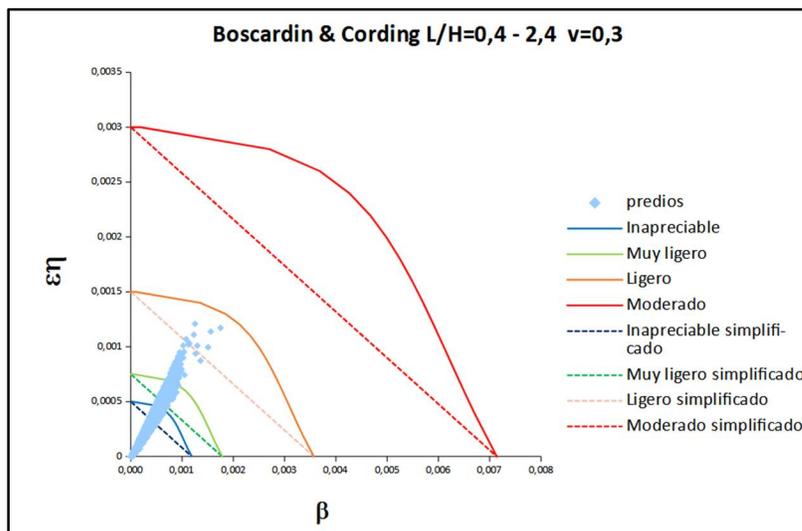


Figura 100. Umbrales de daño según Boscardin and Cording (1989),
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 33. Predios con posible afectación según la metodología de Boscardin and Cording (1989)

Nivel de afectación	No. Predios	Descripción del daño	Tamaño de la grieta (mm)
Inapreciable	571	Fisuras casi imperceptibles	<0,1
Muy ligero	286	Grietas fácilmente reparables	<1,0
Ligero	9	Grietas que pueden taparse con tratamientos específicos. Puertas y ventanas cierran con dificultad	<5,0
Moderado	0	Reparación de grietas que supone trabajos importantes. Puertas y ventanas cierran difícilmente	5,0 a 15,0
Severo	0	Intensa reparación en tabiques. Distorsión en los marcos. Puertas y ventanas no cierran	15,0 a 25,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

A los predios indicados en la tabla anterior se les realizó una visita de campo para identificar su estado actual. De cada uno de los mismos se compiló datos que incluyeron tipo de cimentación, sistema estructural, estado general de la estructura, *chip* de identificación catastral, elementos estructurales horizontales, cerramiento y uso, entre otros.

Es importante mencionar que las afectaciones indicadas en la tabla anterior tienen una certidumbre limitada puesto que no es posible calibrar los resultados obtenidos mediante la metodología de Boscardin and Cording (1989) con las dimensiones reales de las edificaciones.

De cualquier forma, tanto durante la construcción del túnel como durante la operación del proyecto el constructor deberá estar atento a las manifestaciones de la comunidad respecto a eventuales fisuraciones para proceder de manera inmediata con las reparaciones a que haya lugar.

3.2.4.2.1.7. Equipos por utilizar

La máquina tipo Earth Pressure Balance Shield (EPB), o de (escudo de presión balanceada) se basa en el principio de utilizar los movimientos de empuje y avance de la tuneladora para mantener la presión en la cara. La presión de soporte frontal se aplica utilizando el suelo recién excavado, recolectado y presurizado en el plenum o recinto.

En la Figura 101 se muestra el esquema de un escudo de presión de tierra en el que se distinguen tres partes: la anterior, denominada cabeza o rueda de corte; el escudo intermedio y la posterior o cola de la tuneladora.

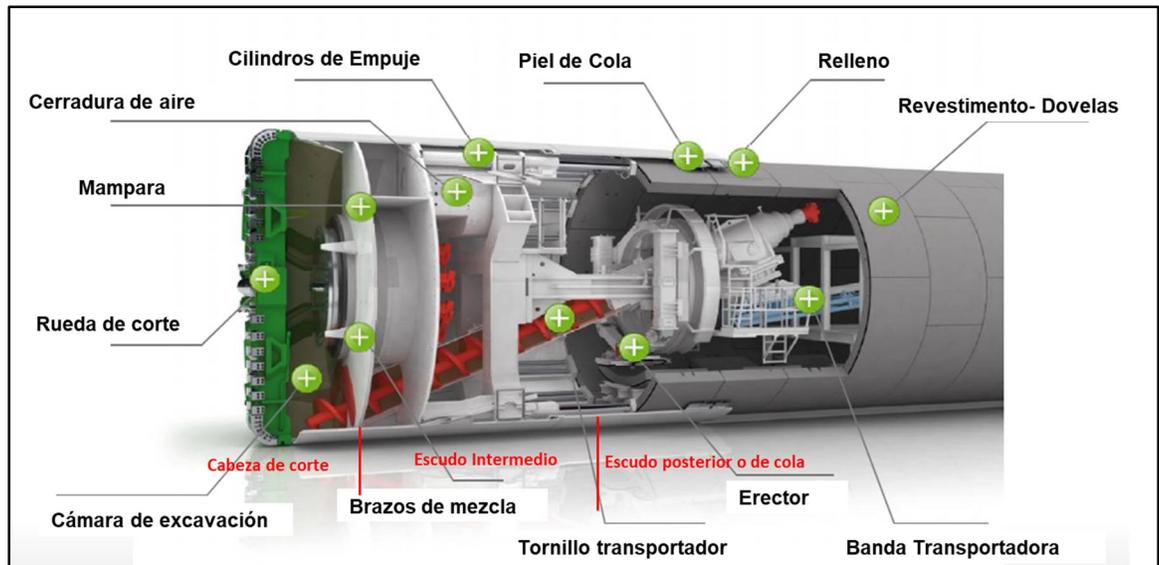


Figura 101. Principio de funcionamiento de EPB Shield

Fuente:Herrenknecht (Moreno, J.C).2016

En su cara frontal, la cabeza lleva las herramientas de corte y las toberas de los productos de adición. En su interior, o cámara de presión, contiene los dispositivos de homogeneización y preparación del terreno excavado para su extracción en forma de masa plástica. En la cámara también se dispone de dispositivos para el control de las presiones en la masa excavada para asegurar la estabilidad del frente.

El escudo intermedio, cuya parte anterior es una estructura metálica denominada mampara que soporta toda la presión de la cámara, lleva los componentes de accionamiento de la máquina, así como el mecanismo para transmitir el movimiento a la rueda, que comprende la corona dentada y sus rodamientos de apoyo. A ese conjunto se le suele denominar cojinete principal de la máquina y es un producto del “*know-how*” de cada fabricante. En la parte inferior del mampara se monta un único tornillo sinfín encargado de extraer el material excavado. Los cilindros del escudo utilizados para su avance están distribuidos uniformemente en sentido circunferencial alrededor de la periferia exterior de la zona trasera del escudo intermedio, apoyándose sobre el paramento del anillo de dovelas mediante gatos emparejados generalmente en cada sección de dovela.

La parte posterior o cola del escudo es el espacio en el que se desarrolla el montaje de los anillos de revestimiento mediante un erector de dovelas, y donde el tornillo sin fin descarga el material excavado en una cinta transportadora que lo dirige fuera del túnel. En general, para facilitar la gestión de los trazados en curva, la junta entre el escudo y la cola está articulada.

El funcionamiento de la máquina EPB excava una sección circular a cierta profundidad contrarrestando la presión del terreno en el frente, evitando deformaciones que se traducirían en asentamientos significativos en la superficie.

Una vez colocado el anillo, se está en condición de realizar otro empuje o avance, el cual comienza con el giro de la cabeza de corte y el empuje de los cilindros.

Simultáneo al empuje, se inyecta una mezcla o mortero en el espacio anular comprendido entre el terreno y los anillos de dovelas, con el fin de evitar deformaciones superficiales del terreno. Este proceso se ejecuta de manera simultánea a la excavación a lo largo de todo el túnel, en los anillos que vayan saliendo de la cola del

escudo. Para tal fin, se emplea un sistema de inyección basado en el concepto “bi-componente”, con una mezcla donde el componente A es una suspensión coloidal de una mezcla de conglomerantes hidráulicos y el B un acelerante, generalmente silicato sódico; ambos reaccionan y endurecen en un tiempo que permite llenar todo el *gap* entre el anillo y el terreno excavado.

En forma paralela a la excavación y colocación de anillos, se coloca una solera para el avance del *back up* y el sistema vagones que alimentan las dovelas, equipo y demás materiales al escudo, durante la excavación. Este sistema puede moverse sobre rieles o sobre ruedas neumáticas.

Al excavar el terreno, éste se introduce en la cámara frontal del escudo EPB y una inyección de espuma - mezcla de agua, producto tensoactivo, polímeros estabilizadores y aire - a una determinada presión según la granulometría del material por excavar (Figura 102), y la agitación producida por la cabeza de corte, convierten el terreno excavado en un lodo que se presuriza debido a la presión ejercida por los cilindros hidráulicos de empuje.

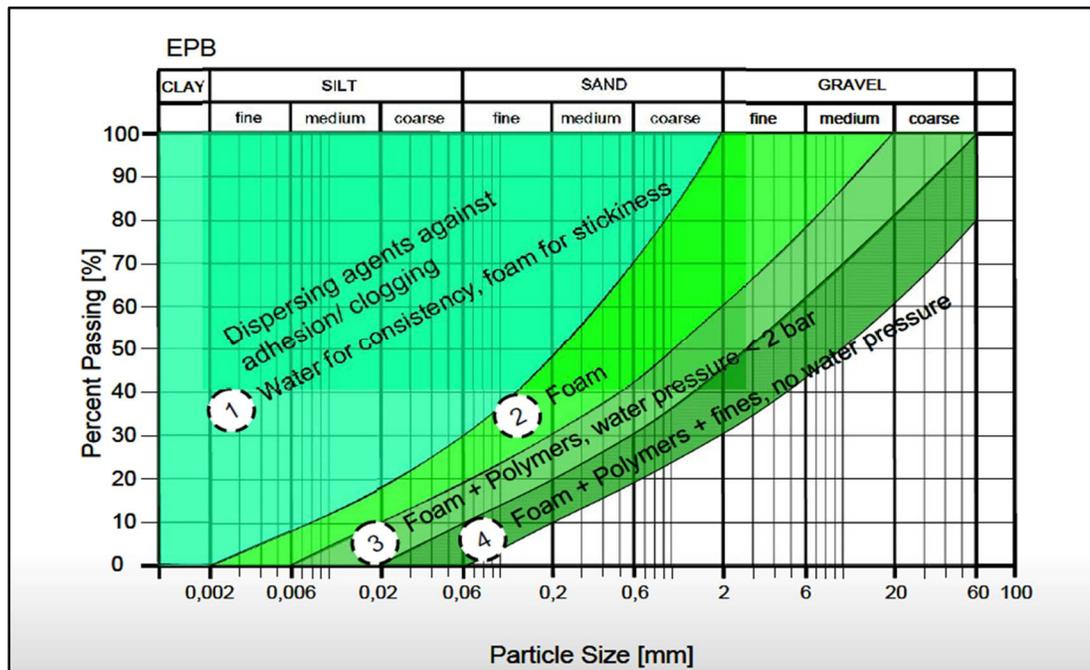


Figura 102. Rangos de aplicación de la EPB y condicionantes del terreno
Fuente:Herrenknecht (Moreno, J.C). 2016

3.2.4.2.1.8. Emportamiento

El túnel no dispone de portales de entrada y salida como tales, sino de pozos de ingreso y egreso de la tuneladora, descritos en los numerales siguientes.

3.2.4.2.1.9. Pozo de entrada

El pozo de entrada de la máquina EPB se ubicará en la localidad de Suba, entre las estaciones E10 (subterránea) y E11 (elevada), particularmente entre las abscisas K14+280 y K14+507 del trazado férreo.

La estructura está conformada por un sistema de pantallas preexcavadas con una placa de cimentación que soporta la vía férrea y con una placa superior que soporta las vías vehiculares que pasan sobre el pozo, correspondientes a la calle 145, como se muestra en la Figura 103. El pozo se adapta al perfil longitudinal de la vía férrea. En la abscisa K14+280 se encuentra el inicio del túnel. En este punto ingresa la máquina tuneladora y comienza la excavación del túnel. La Figura 104 muestra una vista isométrica del pozo de entrada.

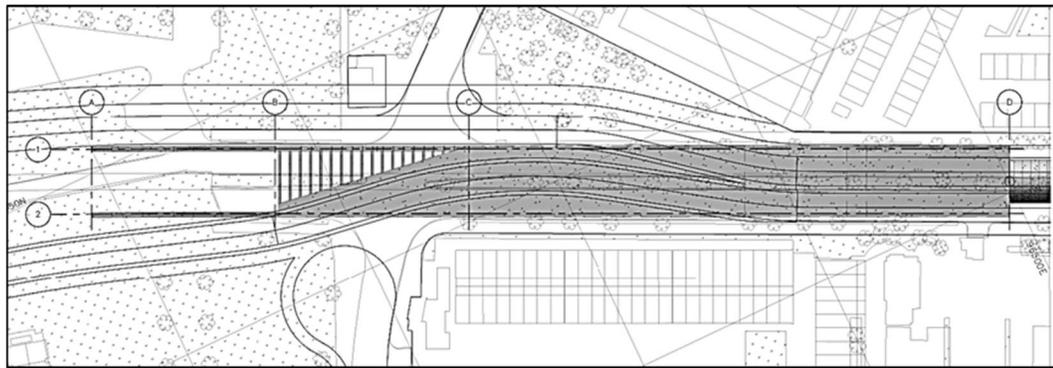


Figura 103. Vista en planta - Pozo de Entrada
Fuente: UT MOVIUS 2022

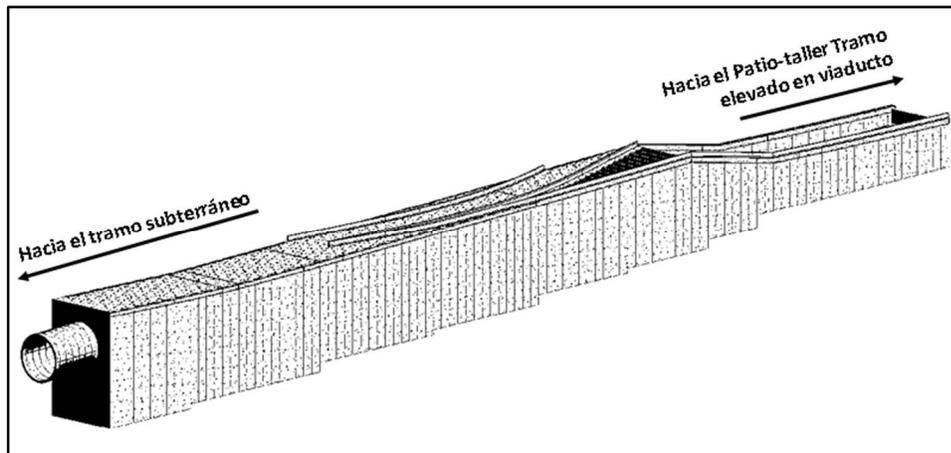


Figura 104. Vista isométrica - Pozo de Entrada
Fuente: UT MOVIUS 2022

Como se presenta en la Figura 105, las pantallas pre-excavadas del pozo de entrada tienen una sección de 1,20 m de espesor y módulos de 2,50 m de ancho. La placa de cimentación que soportará la máquina tuneladora y la vía férrea está compuesta por vigas puntales 1,25 m de alto y 0,60 m de ancho, por una placa de 0,40 m de espesor y por vigas longitudinales con una sección de 1,20 m de alto y 0,80 m de ancho.

Entre los ejes C y D, el pozo se adapta al perfil de las vías vehiculares que pasan sobre éste, las cuales son soportadas por la placa superior. Esta placa está conformada por vigas puntales con una sección de 1,25 m de alto por 0,60 m de ancho, una placa con espesor de 0,25 m y vigas longitudinales de 1,20 m de alto y 1,20 m de ancho. Entre los ejes C y D el ancho de la placa superior se reduce de forma variable conforme al trazado de la vía de la calle 145; por esta razón, entre dichos ejes, una zona de la placa superior cuenta únicamente con vigas puntal y la otra zona cuenta con vigas puntal más la losa. Entre los ejes A y C no hay placa superior.

Tanto en la placa superior como en la placa de cimentación los puntales están separados a una distancia de 2,50 m entre ejes de puntales. La longitud total de las pantallas es variable a lo largo del perfil longitudinal del pozo. La Tabla 34 presenta un resumen de las dimensiones de los elementos estructurales que conforman el pozo de entrada.

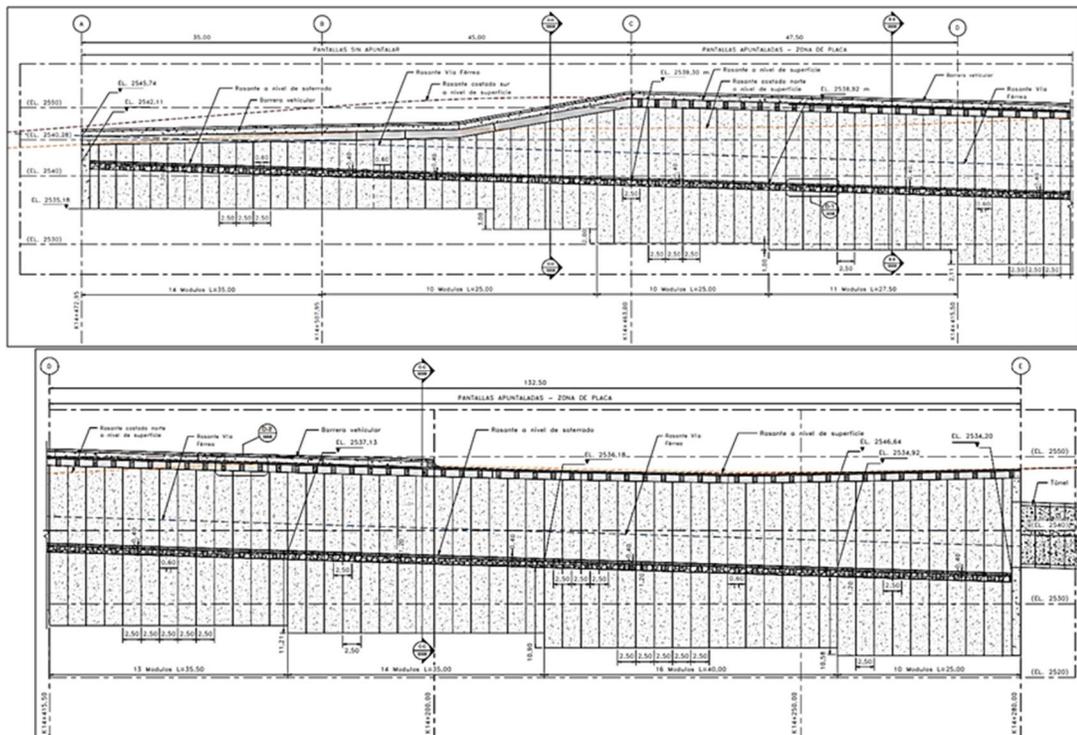


Figura 105. Pozo de Entrada - Vista en perfil

Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 34. Pozo de Entrada - Dimensiones de elementos estructurales

Elemento	B [m]	H [m]
Pantallas - Zona con puntales y losa	1,20	2,50
Pantallas - Zona sin puntales	1,20	2,50
Vigas puntales - Superiores	0,60	1,25

Elemento	B [m]	H [m]
Vigas puntales - Inferiores	0,60	1,25
Placa - Superior	0,25	-
Placa - Inferior	0,40	-
Vigas longitudinales - Superiores	1,20	1,20
Vigas longitudinales - Inferiores	0,80	1,20

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Figura 104 se presenta la vista en planta de la placa de cimentación del pozo de entrada y en la Figura 107 se presentan las secciones transversales del pozo, incluyendo la zona de ingreso de la tuneladora que corresponde al punto final del pozo de entrada. Como se puede ver en estas figuras, el pozo de entrada tiene un ancho interno total de 14,80 m y un ancho externo de 17,20 m; la altura libre es de 10,45 m, que corresponde al gálibo necesario para el ingreso de la tuneladora.

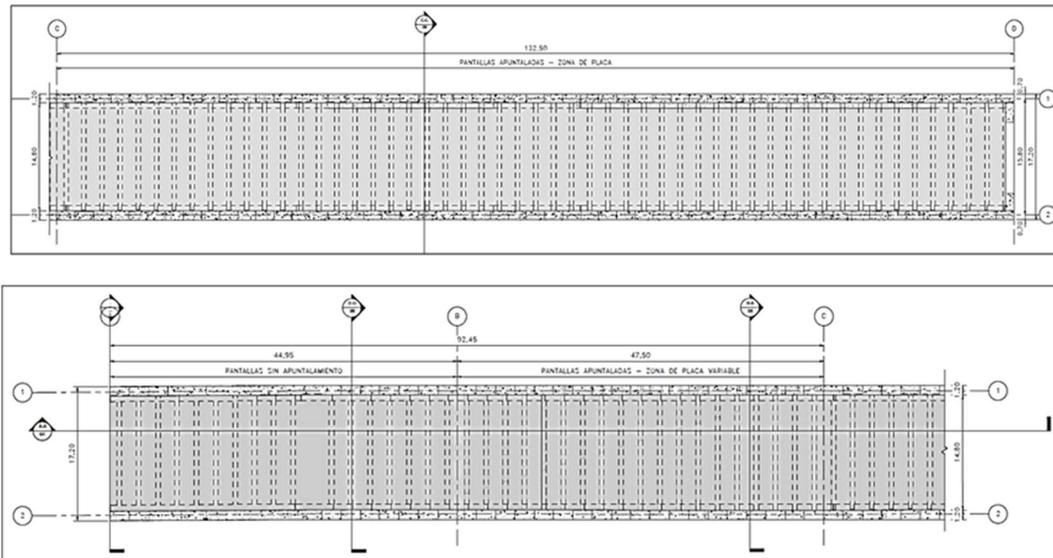


Figura 106. Pozo de Entrada - Planta de cimentación

Fuente: UT MOVIUS 2022

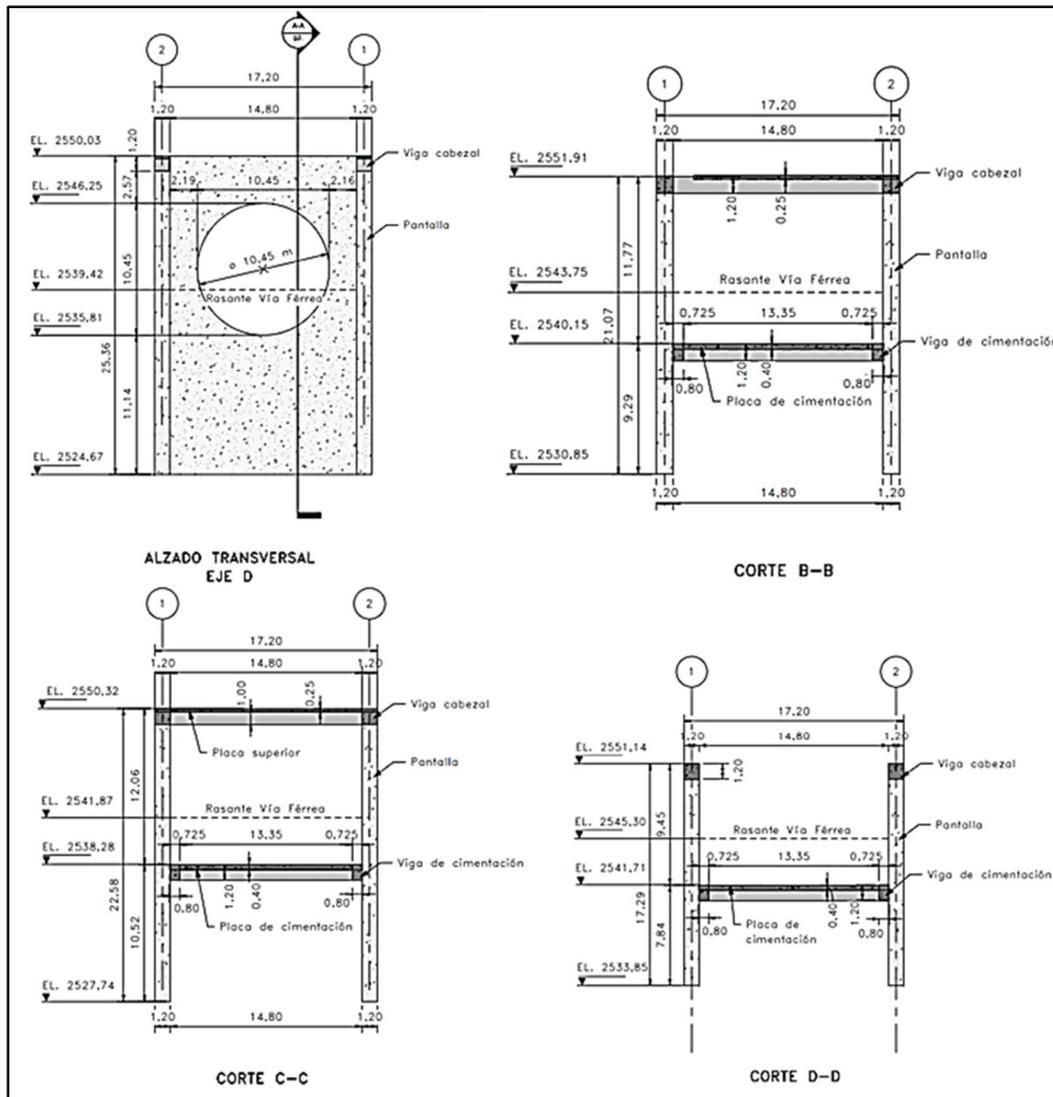


Figura 107. Pozo de Entrada - Secciones transversales

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.2.1.10. Pozo de salida

Las características del pozo de salida se presentan en el numeral [1.2.3.6.3 Pozo de salida](#) y el procedimiento constructivo del mismo en el numeral [1.2.15.2.3 Proceso constructivo](#).

3.2.4.2.1.11. Métodos de excavación

Los métodos de excavación de las obras de la L2MB se presentan en el numeral [1.2.15 Proceso constructivo del proyecto](#).

3.2.4.2.1.12. Manejo de aguas de infiltración, revestimiento e impermeabilización

En el caso del paso del túnel por el humedal Juan Amarillo y con base en la información analizada como en las comprobaciones de magnitud de asientos para la profundidad de implantación establecida del túnel en este sector, se aplica la técnica constructiva con una tuneladora tipo EPB (Earth pressure Balance).

El tipo de soporte del túnel estará conformado por dovelas prefabricadas de concreto reforzado de 0.40 m de espesor que se colocan inmediatamente con el avance del túnel, **las cuales son diseñadas para ser completamente estancas e impermeables.**

Como se mencionó en el numeral [1.2.4.2.1.6. Subsidiencias](#):

La máquina está compuesta por un escudo cerrado, con una cámara donde se aplica presión de agua y tierra, en el frente balanceada, con el fin de controlar los desplazamientos. El efecto de soporte y balance de presiones se logra con el material de la excavación, el cual es mezclado con agua o aditivos condicionantes dependiendo del tipo de material por excavar, para formar un lodo de consistencia suave a muy suave que se retira a través del tornillo sin fin ubicado detrás de la cámara y la cabeza cortadora, para luego ser evacuado hasta la zona de depósito.

El “gap” que deja la cabeza cortadora se rellena con inyecciones de lechada inmediatamente se va avanzado para reducir el efecto de desplazamiento y, en consecuencia, la subsidencia. Al ser hermético el sistema, se elimina la posibilidad de tener infiltraciones hacia el túnel y en consecuencia efectos en el humedal. Es importante, además, aclarar que algunos proveedores garantizan bajo normas que los bicomponentes que se utilizan para acondicionar el material de suelo y garantizar la presión del frente no tienen impactos ambientales.

El método constructivo permite un contrabalance de presiones del terreno y de las aguas, manteniendo la hermeticidad con los escudos de la máquina y con los sellos previstos en los segmentos de los anillos de dovela, evitando así que se afecte el nivel freático y el desecamiento de las fuentes hídricas superficiales entre otros. En el proceso de excavación se utilizan aditivos para el acondicionamiento y corrección de los cambios en la humedad y granulometría del terreno excavado en el frente. Para ese propósito, se emplean espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial.

3.2.4.2.1.13. Manejo de aguas industriales

Las actividades del patio-taller producirán aguas industriales. La red de drenaje de agua residual industrial allí proyectada tiene como función recoger el agua que pueda ingresar de los cárcamos en zona de taller y cocheras. Estos drenajes se manejarán con un API que descarga al alcantarillado industrial proyectado. La

red descargará en un tanque con bomba eyectora que descarga por presión al sistema de tratamiento de agua industrial.

3.2.4.2.1.14. Revestimiento e impermeabilización

El tipo de soporte estará conformado por dovelas prefabricadas de concreto reforzado de 0,40 m de espesor que se colocan inmediatamente con el avance del túnel, las cuales son diseñadas para ser completamente estancas e impermeables.

3.2.4.2.1.15. Infraestructura de ventilación de túneles y estaciones

La sección subterránea de la L2MB se construirá en túnel monotubo y dispondrá de 10 estaciones subterráneas y 11 pozos de ventilación, evacuación y bombeo. Por lo tanto, es necesario proporcionarle un sistema de ventilación de túnel con dos funciones principales:

- En operación normal, verificar que la temperatura dentro de los túneles se mantenga por debajo de los límites prescritos.
- En operaciones de emergencia, garantizar condiciones seguras para la evacuación de pasajeros mediante el control del calor y el humo que se propagan, a lo largo de las rutas de evacuación.

- **Arquitectura del sistema**

La arquitectura prevista para el sistema de ventilación de túnel está basada sobre los requerimientos y las recomendaciones del estándar NFPA 130.

En particular, para realizar un sistema flexible y totalmente reversible, cada estación subterránea será equipada con dos pozos de ventilación, uno por cada extremo de la estación. Estos pozos presentan una sala de ventilación para albergar los ventiladores de túneles que son conectadas por chimeneas de ventilación tanto al túnel como al exterior.

Para el dimensionamiento de la longitud de las secciones de ventilación se ha considerado el criterio de no permitir la circulación de más de un tren por sentido en una sección de ventilación para garantizar la mejor protección a los pasajeros y limitar las restricciones a los sistemas ferroviarios (señalización y tracción).

Por lo tanto, se realizó un análisis dirigido a la evaluación de la necesidad de prever pozos de ventilación en los tramos de túnel entre dos estaciones con base en los resultados del Plan de Operación Preliminar (POP) y en particular de los siguientes parámetros:

- Tiempos de viaje entre dos estaciones consecutivas
- Intervalo entre trenes

Los resultados de este análisis, presentados en la Tabla 35, fueron previamente compartidos con EMB, quien dio instrucción de proceder a la instalación de pozos de ventilación en todos los tramos de túnel entre estaciones.

Tabla 35. Análisis para la definición de los pozos de ventilación intermedios.

		Requisitos de pozos de ventilación intermedios para no tener más de un tren por sentido en la sección de ventilación según el intervalo entre trenes						
Tramos	Tiempos de viaje [s]	85s	90s	95s	100s	110s	130s	135s
E1 - CARACAS	104	1	1	1	1	0	0	0
E2 - NQS	116	1	1	1	1	1	0	0
E3 - Av CR68	101	1	1	1	1	0	0	0
E4 - Av BOYACA	74	0	0	0	0	0	0	0
E5 - Av CIUDAD DE CALI	84	0	0	0	0	0	0	0
E6 - Av CL80	90	1	0	0	0	0	0	0
E7 - CR91	108	1	1	1	1	0	0	0
E8 - HUMEDAL	109	1	1	1	1	0	0	0
E9 - ALO SUR	98	1	1	1	0	0	0	0
E10 - ALO NORTE	94	1	1	0	0	0	0	0
Final del Túnel								
Numero de Pozos		8	7	6	5	1	0	0

Fuente: UT MOVIUS 2022

Por lo tanto, los siguientes pozos de evacuación fueron diseñados para tener también la función de ventilación de túnel. Cada pozo presenta una superficie libre para la ventilación mecanizada de 20 m².

- P1, PK 1+520
- P2, PK 2+975
- P4, PK 4+750
- P5, PK 5+970
- P6, PK 6+950
- P7, PK 8+250
- P8, PK 9+670
- P9, PK 11+130
- P10, PK 12+570
- P11, 13+900

Para garantizar la ventilación en la cola de maniobras al final del túnel y evitar que en caso de incendio en esta zona los humos puedan ingresar en la Estación E1 – Caracas, el pozo inicial P0 de la línea tiene una superficie adecuada para permitir la ventilación natural y la expulsión de humos.

Cada sala de ventilación en los pozos, en estación y en los pozos intermedios está dimensionada para albergar los ventiladores de túnel, en redundancia. En particular se ha previsto una redundancia del tipo 1+1, es decir 1 ventilador en operación y 1 ventilador en posición de espera.

- **Criterios de diseño**

Los criterios de diseño utilizados para el diseño del sistema de ventilación de túnel de la L2MB se describen a continuación.

- **Condiciones climáticas externas**

El sistema de ventilación de túnel está dimensionado a partir de las siguientes condiciones climáticas externas extraídas del estándar ASHRAE y que se refieren al mes más caluroso (condición más gravosa: Enfriamiento 0,4%):

- Temperatura de bulbo seco: 21,2°C
- Temperatura media coincidente de bulbo húmedo: 13,4°C

- **Criterios de confort y tenabilidad**

Estos criterios se refieren a los principales parámetros de confort y tenabilidad (temperatura y velocidad del aire, visibilidad y concentración de monóxido de carbono), los cuales deben ser controlados y gestionados en el interior de túnel y estación, tanto en funcionamiento normal como en operaciones de emergencia. Por tanto, la siguiente tabla muestra los valores límite de dichos parámetros de diseño, definidos con base en los estándares o las buenas prácticas derivadas de proyectos similares.

Tabla 36. Criterios de confort y tenabilidad.

Parámetro	Ubicación	Funcionamiento normal (Criterios de Confort)	Funcionamiento en emergencia (Criterios de Tenabilidad)
Temperatura	Túnel	- T máxima < 40°C - T promedio < 30°C	T < 60°C durante 10min (ref. [1])
Velocidad	Túnel	V > 0.75m/s (ref. [1])	V < 11m/s (ref. [1])
	Rejillas de acceso/ extracción de aire	- Aire extraído: V < 2.5m/s en zona peatonal V < 3.5m/s en jardines - Aire insuflado: V < 3.5m/s en zona peatonal V < 5m/s en jardines (ref. [6])	V < 11m/s (ref. [1])
Visibilidad	Rutas de evacuación	No aplica	Los niveles de oscurecimiento del humo deben mantenerse por debajo del punto en el que las puertas y las paredes son

Parámetro	Ubicación	Funcionamiento normal (Criterios de Confort)	Funcionamiento en emergencia (Criterios de Tenabilidad)
			perceptibles a 10 m, es decir que la visibilidad debe ser superior a 10 m
Monóxido de carbono	Rutas de evacuación	No aplica	FED (Fractional Effective Dose) <0.3 (ref. [1])

Fuente: UT MOVIUS 2022

El estándar NFPA 130 define también algunas condiciones para la correcta evaluación de los parámetros de tenabilidad por asegurar en las rutas de evacuación. Estas son las siguientes::

- La tenabilidad de la ruta de evacuación debe evaluarse en una altura libre de humo de 2 m desde el suelo.
- La aplicación de los criterios de tenabilidad en el perímetro de un incendio no es factible. El área inmediatamente próxima al incendio creará inevitablemente condiciones insostenibles. La zona de tenabilidad debe definirse para aplicarse fuera de un límite alejado del perímetro del incendio. Esta distancia depende de la tasa de liberación de calor del fuego, la tasa de liberación de humo del fuego, la geometría local y la ventilación, y podría ser de hasta 30 m.
- El tiempo de evacuación del andén debe ser de máximo 4 minutos.
- El tiempo de evacuación desde el punto más remoto en el andén a un punto seguro debe ser de máximo 6 minutos.

➤ Nivel de ruido

La siguiente tabla muestra los valores límite de los niveles de ruido en las diferentes áreas del sistema metro, definidos a partir de los estándares o las buenas prácticas derivados de proyectos similares.

Tabla 37. Nivel de ruido

Parámetro	Ubicación	Funcionamiento normal	Funcionamiento en emergencia
Nivel de ruido	Túnel	Presión de nivel de sonido < 85dBA	Presión de nivel de sonido < 85dBA

Fuente: UT MOVIUS 2022

➤ Potencia de fuego

La potencia de fuego (HRR – Heat Release Rate) del tren en llamas considerada para el dimensionamiento del sistema de ventilación de túnel es de 10 MW.

En acuerdo con el estándar NFPA 92B, el fuego producido por un tren en llamas se asume del tipo inestable con una curva de crecimiento según el modelo t-cuadrado, seguida por una etapa estable/constante.

➤ Requerimientos operacionales

Los ventiladores que constituyen el sistema de ventilación del túnel deben ser resistentes al fuego para garantizar su funcionamiento en caso de emergencia. Así mismo, deben cumplir las normas IEC 60331, IEC

34-1 y IEC 34-5 y estar homologados con certificado clase 3 para garantizar dicho funcionamiento hasta una temperatura de 400 °C durante un tiempo mínimo de 2 horas.

En la L2MB se prevé la utilización de ventiladores de túnel de tipo canalizado, totalmente reversibles y equipados con dos difusores (uno por cada lado) y una compuerta de aislamiento que se cierra cuando el ventilador no está en funcionamiento. Se instalarán silenciadores (dos por cada ventilador), integrados en el ventilador.

El funcionamiento de los componentes del sistema de ventilación de emergencia se iniciará desde el centro de control de operaciones (CCO). El CCO debe recibir verificación de la respuesta adecuada de los ventiladores de emergencia y dispositivos interrelacionados. Se debe permitir que el control local sobrepase el CCO en caso de que este último deje de funcionar o cuando la operación de los componentes del sistema de ventilación de emergencia se redirija específicamente a otro sitio.

En caso de incendio, la prioridad del sistema de señalización es llevar el tren en llamas a la siguiente estación, cuando sea posible.

La vida útil será de 30 años para todos los equipos.

● **Funcionamiento normal**

Las operaciones se consideran "normales" cuando los trenes se mueven a través del sistema de acuerdo con el horario y los pasajeros viajan sin problemas a través de las estaciones hacia y desde los trenes.

De acuerdo con el plan de operación de los trenes, los siguientes escenarios fueron simulados para proporcionar una visión a corto término y una a largo término.

- ❖ Escenario 1: intervalo entre trenes (headway 2052): 135s
- ❖ Escenario 2: intervalo entre trenes (headway mínimo): 85s

El propósito del análisis en funcionamiento normal es determinar la temperatura del aire al interior del túnel y verificar si los valores están dentro de los umbrales límite indicados en la Tabla 36, en modo de garantizar el confort de los pasajeros.

Generalmente, durante el funcionamiento normal, la extracción de aire caliente del túnel y la entrada de aire fresco se realiza mediante el efecto de pistón del tren a través de los pozos de ventilación en estación e intermedios.

De hecho, el movimiento del tren en el túnel produce los dos efectos siguientes:

- Un tren que se acerca a un pozo de ventilación abierto induce un aumento de presión que produce un caudal de aire que sale del entorno del túnel a través del pozo.
- Un tren que se aleja de un pozo de ventilación abierto, debido a la región de baja presión en la vecindad de la cola, induce un flujo de aire que ingresa al ambiente del túnel.

En condiciones normales de funcionamiento, todos los pozos de ventilación de estación e intermedios están abiertos.

Si la temperatura del túnel aumenta excesivamente, los ventiladores del sistema de ventilación del túnel se pueden operar para suministrar aire fresco y descargar el aire caliente, con el fin de compensar el intercambio de aire generado por el efecto pistón del tren.

Simulaciones unidimensionales a través del software SES han sido desarrolladas para determinar estos parámetros y confirmar las condiciones de confort para los pasajeros a lo largo de la línea. Los resultados de las mismas confirman que sólo para el escenario 1 el intercambio de aire generado por el efecto pistón del tren es capaz de garantizar una temperatura confortable para los pasajeros. De hecho, en el escenario 2, con un intervalo de trenes de 85s, hay un tramo de túnel donde la temperatura máxima simulada es ligeramente más alta de la temperatura máxima consentida (Tabla 36). En ese caso, se recomienda la ascensión de ventiladores para disminuir la temperatura en los tramos más calientes.

Se evidencia que en ambas simulaciones todos los pozos de ventilación (en estación e intermedios) están abiertos para consentir la entrada de aire fresco y la salida de aire caliente al exterior y con todos los ventiladores apagados.

La siguiente tabla resume los parámetros fundamentales.

Tabla 38. Temperatura a lo largo del túnel durante funcionamiento normal.

Escenario	Ventilación mecanizada	Intervalo entre trenes	Temperatura promedio en el túnel	Temperatura máxima en túnel
1	NO	135 s	28.4 °C	38.3 °C
2	NO	85 s	30.9 °C	42.4 °C

Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Funcionamiento de emergencia**

Las operaciones de emergencia tienen lugar en caso de un incendio del tren en el túnel o estación.

En el caso de tren en llamas a lo largo del túnel, el objetivo fundamental del sistema de ventilación de túnel es proporcionar suficiente flujo de aire para lograr una velocidad del aire en el túnel que permite el confinamiento de los humos e impide su retorno (*backlayering*) en modo de mantener condiciones sostenibles a lo largo de la ruta de evacuación hacia arriba del incendio y facilitar la intervención de los bomberos.

La velocidad mínima de los humos en el área del incidente, para evitar cualquier movimiento de los humos en sentido contrario al inducido por la ventilación forzada, se denomina "velocidad crítica". Cabe mencionar que esta depende de la potencia de fuego y la geometría del túnel.

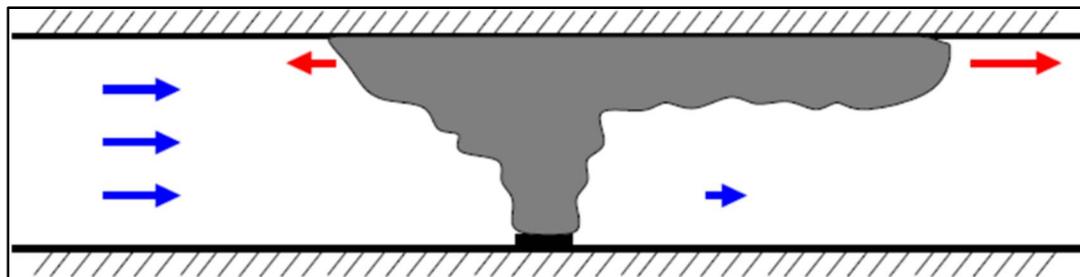


Figura 108. Fenómeno de “backlayering” - Ventilación longitudinal insuficiente
Fuente: UT MOVIUS 2022

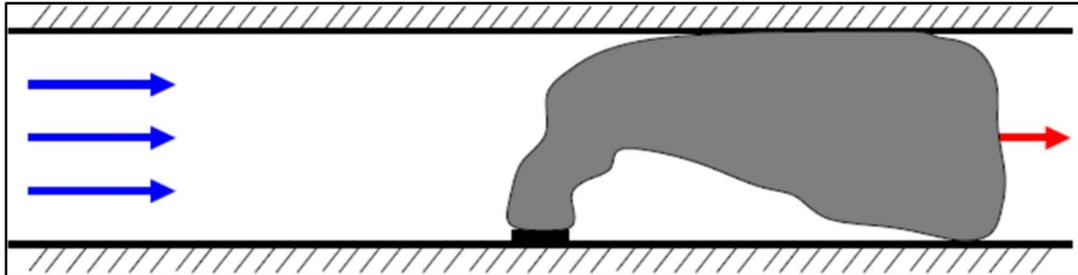


Figura 109. Humo controlado - Ventilación longitudinal eficaz
Fuente: UT MOVIUS 2022

Por consiguiente, la velocidad crítica es el criterio para determinar el flujo de aire requerido en la vía del tren, y por lo tanto las capacidades de los ventiladores del sistema de ventilación.

El dimensionamiento en emergencia consiste en una serie de simulaciones unidimensionales efectuadas en los escenarios críticos (Tabla 38) para determinar el flujo de aire obtenido en la zona arriba del incendio y compararlo con el valor de “velocidad crítica” calculado para esa ubicación específica del incendio.

El objetivo de tales simulaciones es demostrar que el sistema de ventilación diseñado es capaz de mantener un caudal de aire igual o superior al valor crítico para evitar el efecto de “backlayering” del humo a lo largo de las vías de evacuación.

Cabe destacar que en las simulaciones efectuadas para el dimensionamiento y verificación de los ventiladores se procuró obtener valores de velocidad del aire en la zona de incendio iguales o apenas superiores a los valores de velocidad crítica calculados según la norma NFPA 502 2020 para evitar sobre-dimensionamientos del sistema, puesto que esta norma ya es en sí conservadora con respecto a las versiones anteriores de la misma.

Los valores calculados de la velocidad crítica se presentan en la Tabla 38 por cada escenario de incendio analizado.

➤ Escenarios de emergencia

Se ha definido un escenario de “caso peor” para cada sección de ventilación del túnel con especial atención a la pendiente de la línea.

Una sección de ventilación se define como la sección del túnel entre el pozo a un extremo de la estación y el pozo intermedio siguiente.

Para tomar en cuenta el “caso peor”, por cada sección de ventilación se ha supuesto dirigir el flujo de aire en el sentido de grado más adverso (pendiente descendente). Es decir que el fuego está cerca de la parte superior de la pendiente, lo que requiere que el humo sea dirigido contra de las fuerzas de flotación (efecto chimenea) en la mayor distancia, lo que impone la mayor demanda de capacidad del ventilador.

Para cada sección de ventilación entre la estación E1 Caracas y el pozo final P11, la estrategia de ventilación es la siguiente:

Modo “push&pull”, es decir que el aire se inyecta desde un pozo y se extrae por el pozo siguiente. La dirección del flujo de ventilación depende de la posición del fuego en el tren y la dirección de evacuación.

Cabe destacar que el sistema ha sido diseñado como totalmente reversible, es decir que por cada pozo es posible tanto suministrar aire como extraer humo/aire.

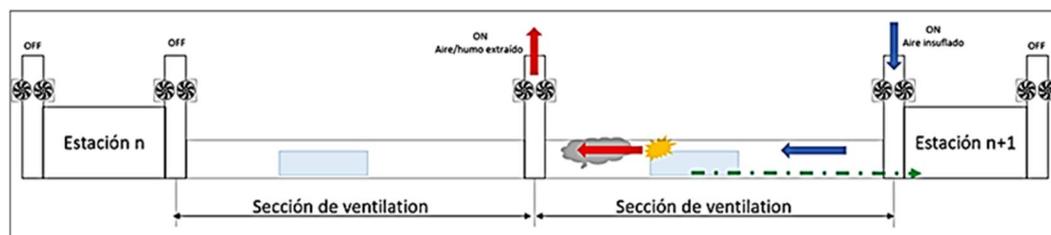


Figura 110. Estrategia de ventilación en las secciones de ventilación entre E01 y P11
Fuente: UT MOVIUS 2022

En las secciones de ventilación en los escenarios terminales (inicio y final del túnel), el objetivo es expulsar los humos al exterior del túnel. En estos casos, la estrategia consiste en activar los ventiladores de la estación/pozo inmediatamente anterior en modo suministro (*push*) para crear un flujo de aire hacia el exterior del túnel, respectivamente por el pozo natural P0 en el escenario de inicio y hacia el portal en el escenario al final del túnel. Es importante señalar que para el escenario de final de túnel también se tuvo en cuenta la posibilidad de tener viento contrario a la dirección de los humos.

Cada escenario fue analizado considerando que solo un ventilador por cada pozo estuviera en operación, lo cual asegura la redundancia del sistema en caso de falla de un ventilador.

A continuación se listan los escenarios analizados, en función de la ubicación del tren en llamas.

Tabla 39. Listado de escenarios y resultados de velocidad crítica .

Escenario		Longitud sección de ventilación [m]	Pendiente	Velocidad crítica [m/s]		Conforme
				NFPA 502 2020	Simulación SES	
0	E01 --> P0	685	0,00%	2,82	2,92	SI
1.A	E01 --> P1	675	-2,48%	3,04	3,31	SI
1.B	P1 <-- E02	669	0,50%	2,88	2,94	SI
2.A	E02 --> P2	626	-1,50%	2,97	3,10	SI
2.B	P2 <-- E03	985	1,00%	2,93	3,08	SI
3.A	E03 --> P4	630	-1,00%	2,93	3,00	SI
3.B	P4 <-- E04	665	1,70%	2,98	3,01	SI

			Velocidad crítica [m/s]			
Escenario	Longitud sección de ventilación [m]	Pendiente	NFPA 502 2020	Simulación SES	Conforme	
4.A	E04 --> P5	395	-1,00%	2,93	2,97	SI
4.B	P5 <-- E05	360	1,70%	2,98	2,99	SI
5.A	E05 --> P6	460	-1,00%	2,93	3,13	SI
5.B	P6 <-- E06	482	1,20%	2,94	2,95	SI
6.A	E06 --> P7	658	-1,40%	2,96	3,08	SI
6.B	P7 <-- E07	420	1,50%	2,97	3,01	SI
7.A	E07 --> P8	840	-1,50%	2,97	3,07	SI
7.B	P8 <-- E08	595	1,60%	2,97	2,98	SI
8.A	E08 --> P9	705	-0,50%	2,88	2,93	SI
8.B	P9 <-- E09	710	1,10%	2,93	2,94	SI
9.A	E09 --> P10	570	-0,70%	2,90	2,92	SI
9.B	P10 <-- E10	640	0,50%	2,88	2,95	SI
10.A	E10 --> P11	530	1,22%	2,94	2,97	SI
10.B	P11 <-- Final del túnel	600	3,10%	2,82	2,84	SI

Fuente: UT MOVIUS 2022

➤ Resultados de las simulaciones

Como se muestra en la Tabla 39, en todos los escenarios analizados la velocidad simulada alcanza la velocidad crítica, y por consiguiente los resultados están conformes con los criterios de diseño.

En la Tabla 40 se presentan el caudal de aire y la presión requeridos por cada ventilador y por cada escenario de incendio.

Tabla 40. Resultados de caudal y presión de los ventiladores para cada escenario

-	Suministro (PUSH)			Extracción (PULL)		
	Estación / Pozo intermedio	Caudal [m³/s]	Presión [Pa]	Estación / Pozo intermedio	Caudal [m³/s]	Presión [Pa]
0	E01	145,9	939	-	-	-
1.A	E01	147,1	867	P1	143,1	1811
1.B	E02	147,4	849	P1	133,2	1602
2.A	E02	147,0	875	P2	132,5	1631
2.B	E03	159,7	1006	P2	149,7	1531
3.A	E03	147,2	861	P4	132,6	1625
3.B	E04	166,2	1068	P4	152,8	1723
4.A	E04	147,3	857	P5	129,9	1740
4.B	E05	166,2	1068	P5	143,6	2057
5.A	E05	159,6	1015	P6	142,5	1833
5.B	E06	166,2	1068	P6	148,5	1888
6.A	E06	166,0	1078	P7	152,8	1723
6.B	E07	172,6	1182	P7	154,2	1985
7.A	E07	172,4	1194	P8	161,4	1715
7.B	E08	177,4	1245	P8	163,1	1882
8.A	E08	159,6	1015	P9	148,1	1602
8.B	E09	177,5	1239	P9	163,5	1869
9.A	E09	159,6	1013	P10	142,0	1854
9.B	E10	177,5	1241	P10	164,2	1841
10.A	E10	147,4	850	P11	132,0	1651
10.B	P11	177,1	1262	-	-	-

Fuente: UT MOVIUS 2022

En conclusión:

- 1) Los resultados de las simulaciones muestran que el sistema de ventilación de túnel diseñado permite alcanzar los objetivos fijados tanto en funcionamiento normal como en emergencia.

- 2) Los ventiladores deben ser seleccionados considerando los escenarios de emergencia, y en particular satisfaciendo los siguientes puntos "críticos" de trabajo que deben ser considerados para la correcta selección del ventilador y de su curva caudal/presión:
 - Punto a caudal máximo (flujo frío): 177.5 m³/s @ 1241 Pa
 - Punto a presión máxima (flujo caliente): 143,6 m³/s @ 2057 Pa
- 3) El fabricante de los ventiladores debe asegurar que todos los otros puntos presentados en la Tabla 40 están cubiertos variando la velocidad de rotación del ventilador.
- 4) Los ventiladores deben respetar las siguientes características:
 - Temperatura 400°C 2h
 - Frecuencia: 60Hz
 - Densidad de referencia: 0,95 kg/m³

❖ Pozos de ventilación

Los pozos de ventilación comprenden el cubículo y el conjunto de elementos del equipo de ventilación, que consta de:

- Reja de acceso exterior
- Chimenea de ventilación
- Embocadura y acceso interior

Las dimensiones de cada pozo están condicionadas por el estudio de ventilación y por la velocidad máxima admisible del aire. El número mínimo de renovaciones/hora y velocidades de impulsado máximas serán determinados por la normativa vigente o, en su defecto, nunca inferior a 15 renovaciones/hora y velocidad máxima del aire impulsado de 5 m/s en zonas libres y 2 m/s en zonas de paso.

➤ Evacuación de pasajeros

La función del sistema de ventilación del túnel permite manejar correctamente los humos durante una emergencia de incendio, facilitando la evacuación de los pasajeros tanto en el caso que el tren en fuego sea situado en el túnel entre estaciones como en el túnel de estación.

El sistema de ventilación de túnel también servirá para asegurar las apropiadas condiciones de confort en lo interior del túnel durante el normal funcionamiento de la línea, disminuyendo la temperatura ocasionada por los trenes y equipos de la red, limitando las fluctuaciones de presión debidas al efecto pistón generado por el paso de trenes, y garantizando la renovación de aire.

Para cada tramo de túnel distribuido entre dos estaciones se prevén pozos de evacuación cada 762 m en acuerdo con NFPA 130. En esta fase se asume de equiparlos todos con ventiladores de túnel para reducir la longitud de las secciones de ventilación y garantizar que solo un tren viaje en cada dirección según lo recomendado por el NFPA 130.

Por lo tanto, en cada tramo de túnel distribuido entre dos estaciones se prevén los pozos de evacuación para garantizar una ruta de evacuación segura para el escape de los pasajeros en caso de incendio del tren.

En la Figura 39, Figura 40, Figura 41, Figura 42, Figura 91 y Figura 92 se aprecia la configuración de los pozos de ventilación, evacuación y bombeo.

❖ Reja y acceso exterior

La reja exterior para la admisión o extracción de aire en las estaciones debe estar situada en un punto estratégico para su correcto funcionamiento; será el punto de acceso exterior para el mantenimiento de los equipos de ventilación, por lo que debe incorporar una puerta de acceso. La reja debe estar preparada para soportar el tránsito pesado.

❖ Chimenea de ventilación

La chimenea es el conducto de admisión de aire de ventilación. No debe alojar ningún equipo en su interior; solo debe existir la correspondiente escalera para la realización del mantenimiento.

❖ Ventiladores

Los ventiladores serán de caudal suficiente para garantizar el número de renovaciones/hora establecido.

Los ventiladores de túnel, de salidas de emergencia y extractores de humo serán resistentes al fuego para garantizar su funcionamiento en caso de emergencia, cumplirán las normas IEC-60331, IEC – 34 -1 y 34-5 y estarán homologados con certificado clase 3 para garantizar dicho funcionamiento hasta una temperatura de 400 oC durante un tiempo mínimo de 2 horas.

❖ Conductos metálicos

Los conductos serán metálicos y cumplirán las especificaciones para este tipo de elementos.

Los conductos de ventilación que deben extraer humos deben asegurar que mantendrán su estabilidad y funcionalidad a 400oC un tiempo mínimo de 2 horas. Los conductos tendrán su propio sistema de sujeción, no permitiéndose la utilización de soportes de otros sistemas o instalaciones de la estación.

❖ Climatización

Para garantizar un correcto funcionamiento, las salas técnicas de señalización y comunicación deben disponer de climatización siempre que las condiciones ambientales no garanticen los requerimientos de temperatura de funcionamiento de los equipos que se instalen. Las salas ocupadas de forma habitual por el personal de estación serán también climatizadas. La climatización se realizará mediante equipos autónomos de expansión directa.

❖ Ventilación y presurización en escaleras de emergencia

Las salidas de emergencia o evacuación dentro de los pozos del túnel constituyen la vía de escape más segura en caso de incendio dentro del túnel. Teniendo en cuenta la normativa considerada en el proyecto, se busca generar un ambiente controlado y seguro para la evacuación de las personas, de tal forma que las escaleras se encuentren presurizadas con el fin de realizar un egreso seguro libre de humo, cumpliendo con la norma NFPA 92.

➤ Sistema de presurización

Se prevé que el sistema de presurización de las escaleras esté diseñado para mantener una presión mínima de 25 Pa al interior de las escaleras para evitar el ingreso de humo, y una presión máxima de 67 Pa con la finalidad de que una persona pueda abrir las puertas en caso de emergencia según la NFPA 92 “4.4.2.1 *Pressure Differences Across Spaces*”. Este sistema está diseñado para mantener dichas presiones en dos casos, el primero con todas las puertas cerradas y el segundo teniendo un caso crítico en el cual tanto la puerta de acceso a las escaleras como la puerta de salida en el nivel de calle estén abiertas, donde adicionalmente se garantiza una velocidad mayor a 1.5 m/s según la NFPA 92, con la cual se garantiza que en caso de incendio el humo no ingrese al recinto. Estas presiones se garantizarán por medio de *dampers* de sobrepresión, que permitirán alcanzar estos límites cuando las puertas se encuentren cerradas.

El sistema de presurización de escaleras estará conformado por un ventilador en funcionamiento del 100% y un ventilador en caso de emergencia en el cual el principal no funcione, ubicados en la cubierta de los cuartos técnicos en el nivel calle. Adicionalmente, el sistema contará con rejillas de suministro ubicadas en cada piso de las escaleras, *dampers* anti retorno ubicados en la descarga de los ventiladores para evitar la pérdida de aire, así como también *dampers* reguladores para balancear el sistema en función de las diferentes combinaciones de apertura de puertas y poder mantener el criterio de presión mínimo y máximo de diseño.

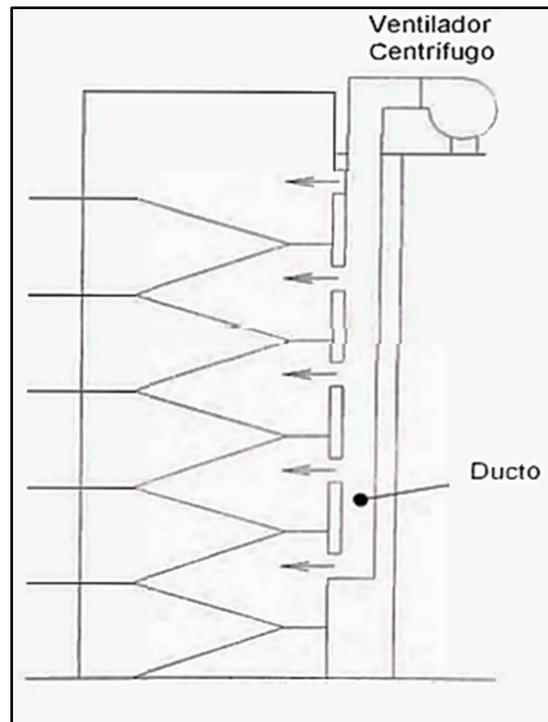


Figura 111. Esquema de sistema de presurización
Fuente: UT MOVIUS 2022

➤ Criterios de diseño

Los criterios para el diseño de los sistemas de presurización de las escaleras de emergencia ubicadas en los pozos de ventilación fueron los siguientes:

Tabla 41. Parámetros de diseño sistema de presurización.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura máxima anual exterior esperada (*)	°C	21
Temperatura ambiente de diseño interior escaleras	°C	24
Presión mínima de diseño	Pa	25
Altitud	msnm	2625
Presión promedio del túnel	Pa	100

Fuente: UT MOVIUS 2022

Los criterios de diseño para el cálculo del caudal requerido del sistema de ventilación de las escaleras fueron los siguientes:

1. El caudal requerido para garantizar confort de las personas según la ocupación y actividad dentro del recinto.
2. El caudal requerido para garantizar un flujo de aire con velocidad relativamente alta y evitar la entrada del humo a las escaleras de evacuación.

Para cada nivel de operación y escaleras del Pozo de ventilación se realizó una comparación entre los dos criterios mencionados anteriormente. De estos criterios se tomó el caudal mayor y se usó como caudal de diseño para el sistema de ventilación correspondiente.

En el criterio de ocupación se estima la cantidad de personas que pueden estar dentro de las escaleras en un pico máximo de ocupación; paralelo a esto se calcula el calor disipado por estas personas realizando caminata o movimiento ligero según el "ASHRAE handbook - fundamental v.2009" de 145 W/persona, con lo cual se obtiene un caudal de diseño para el confort de las personas dentro de las escaleras de evacuación.

En cuanto al caudal de diseño para garantizar el flujo de aire, éste se estima al tener el evento más crítico que sería tener al mismo tiempo tanto la puerta de salida a la calle como la puerta de ingreso a las escaleras de emergencia abiertas. Con este escenario se calcula la cantidad de caudal que pasa a través de estas puertas, así como también el caudal que pasa por las áreas de fuga hacia los cuartos de ventiladores y cuartos técnicos, el cual también depende de la diferencia de presión entre las diferentes áreas (25 Pa).

❖ Selección de equipos

Una vez calculado el caudal de aire de diseño y las pérdidas en los ductos del sistema de ventilación se procedió a seleccionar un equipo con la capacidad necesaria para suministrar el caudal requerido para la presión total estimada. Para ello, se tomaron ventiladores de catálogos de referencia en condiciones estándar, teniendo en cuenta los ajustes, factores de corrección por altura en msnm, y pérdidas por transmisión de la polea. La selección se realizó mediante el uso de software en línea (vía web), como por ejemplo el software Ecaps® del fabricante Greenheck, el cual permite parametrizar las condiciones de operación de los ventiladores que provee cada fabricante de referencia.

❖ Infraestructura de ventilación de estaciones

La infraestructura de ventilación de las estaciones se presenta en el numeral [1.2.4.2.3.6 Infraestructura de ventilación de estaciones](#).

3.2.4.2.2. Tramo en viaducto

Las características del tramo en viaducto se presentan en el numeral [1.2.3.6.7 Viaducto](#), y la secuencia constructiva del mismo en el numeral [1.2.15.4](#).

3.2.4.2.3. Estaciones y módulos de acceso

3.2.4.2.3.1. Estaciones subterráneas

El tramo subterráneo de la L2MB está comprendido entre la calle 72 cerca de la carrera 9, donde se localiza el K0+000 del trazado, y el K14+280, donde se ubica el pozo de entrada de la máquina tuneladora. Además de los pozos de entrada y salida, a lo largo de este tramo se ubican 10 estaciones subterráneas con profundidades a riel de 30 a 32 m, con dimensiones útiles de 160 m de largo y anchos útiles de 31,8 y 23,2 m. Después del pozo de entrada, la línea del metro sale a superficie, cruzando la estación elevada E11 en el K14+790.

Las estaciones subterráneas se construirán con muros pantalla preexcavados de 1,20 m de espesor desde la superficie hasta la profundidad de empotramiento de diseño.

Las estaciones tendrán de dos a cuatro accesos, conforme su disponibilidad de espacio en superficie, su ubicación y su demanda. Se construirán tres tipos de accesos externos, según la posición urbana de las estaciones y la necesidad de espacios técnicos en su interior.

❖ Tipología de estaciones subterráneas

Para la L2MB se han previsto dos tipologías de estaciones subterráneas, una para la estación E1, Av. Caracas y otra para las nueve estaciones restantes. La Estación E1 tendrá una longitud interior de 160 m y 31,8 m de ancho interior. En esta estación se han previsto dos filas de columnas interiores a lo largo de la estación localizadas a 4,9 m de las pantallas externas, dejando una distancia interior entre columnas de 22 m. La estación tendrá una tapa superior, tres mezzanines y la losa de fondo con solera curva.

La tipología para las nueve estaciones restantes tendrá una longitud útil de 160 m y 23,2 m de ancho. Estas estaciones tendrán una tapa superior, tres mezzanines y la losa de fondo con solera curva. Todas las estaciones tendrán una profundidad media a riel de 30 m y estarán conformadas por un muro pantalla perimetral de concreto reforzado de 1,20 m de espesor. En la Tabla 42 se presentan las características geométricas de las estaciones subterráneas.

Tabla 42. Características de las estaciones subterráneas

Estación subterránea		Abscisas		Cota a riel (msnm)	Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Longitud útil (m)
		Inicial	Final				
1	Caracas	K0+685,0	K0+845,0	2526,88	-30,74	31,8	160,0
2	NQS	K2+189,5	K2+349,5	2516,03	-30,81	23,20	160,0
3	Av. 68	K3+960,0	K4+120,0	2516,40	-31,06	23,20	160,0
4	Av. Boyacá	K5+415,0	K5+575,0	2520,80	-30,77	23,20	160,0
5	Av. C. de Cali	K6+330,0	K6+490,0	2520,77	-30,51	23,20	160,0
6	Av. Calle 80	K7+432,0	K7+592,0	2521,25	-30,44	23,20	160,0
7	Carrera 91	K8+670,0	K8+830,0	2518,25	-31,58	23,20	160,0
8	Humedal	K10+250,0	K10+410,0	2516,39	-31,82	23,20	160,0
9	Alo sur	K11+840,0	K12+000,0	2520,03	-30,84	23,20	160,0
10	Alo norte	K13+210	K13+370,0	2519,90	-31,13	23,20	160,0

Fuente: UT MOVIUS 2022

Las estaciones subterráneas se construirán por el sistema *Cut & Cover*, método invertido. Este sistema consiste en la construcción de muros pantalla pre excavados desde la superficie hasta la profundidad establecida en el diseño. Una vez terminadas las pantallas se construye la losa superior, que se apoya en las paredes de la pantalla. Cuando la losa está terminada y adquiere la resistencia necesaria, pueden habilitarse las actividades de superficie mientras se continúan los trabajos en el interior, extrayendo el material de suelo hasta el siguiente nivel de losa, apuntalando adecuadamente las pantallas. Se procede de esta manera hasta llegar al nivel del fondo para ejecutar la contrabóveda en concreto.

La tapa superior sobre la pantalla estará cubierta por un relleno de 1 a 2 m de espesor. En el interior de la estación se han previsto tres mezzanines intermedios y una losa de fondo curvo para apoyar la línea férrea. En la Figura 112 y Figura 113 se presenta la planta y la sección transversal de la Estación E1. De igual manera en la Figura 115 y Figura 116 se presenta la tipología en planta y perfil de las estaciones E2 a E10.

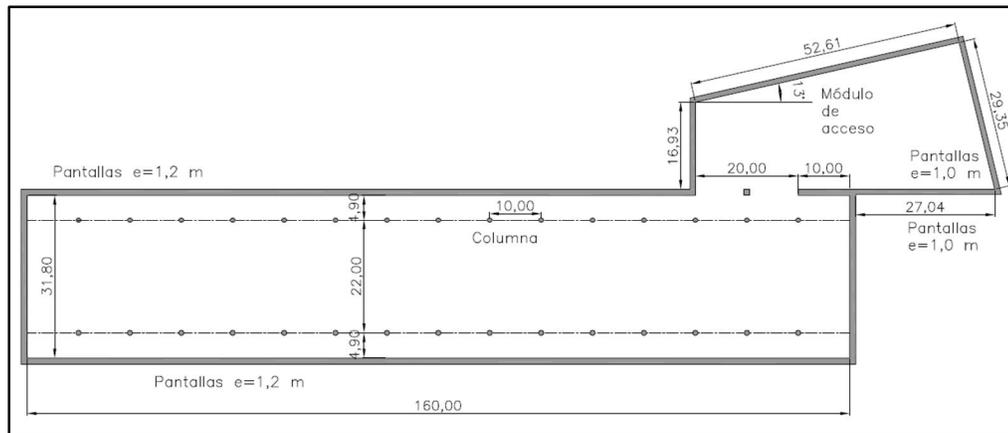


Figura 112. Planta en superficie estación E1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

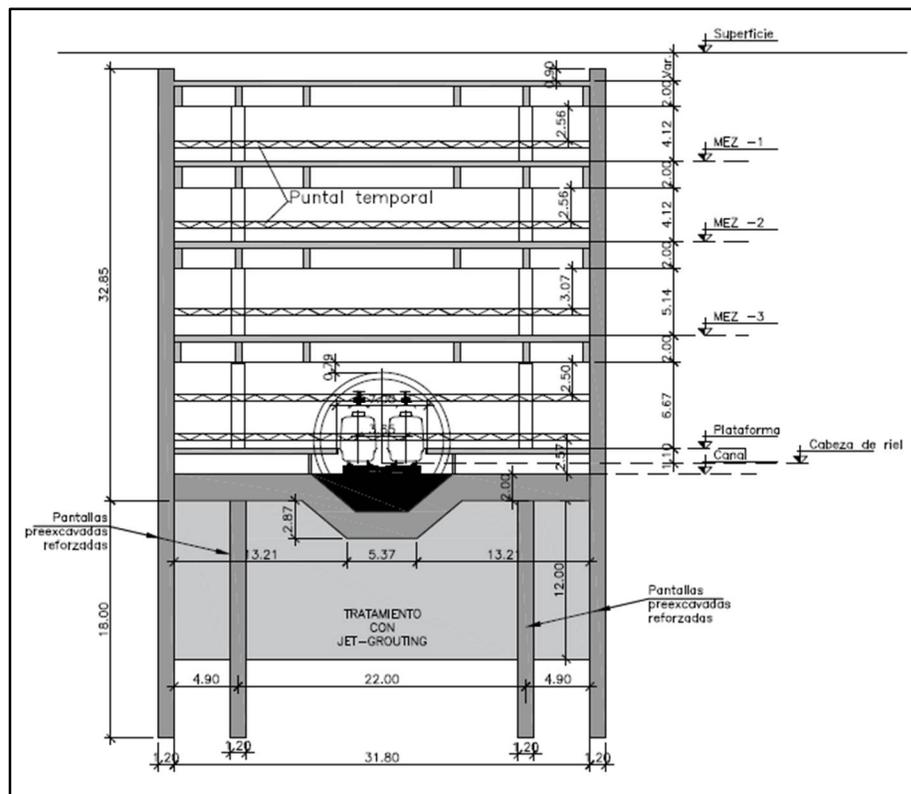


Figura 113. Sección transversal de la estación E1
Fuente: UT MOVIUS 2022

El módulo de acceso a la Estación E1 llega al nivel del primer mezzanine. Este acceso también se construirá con pantallas preexcavadas. En la Figura 114 se muestra la sección transversal típica del módulo de acceso a la Estación E1. En las estaciones restantes los accesos se realizan mediante módulos similares.

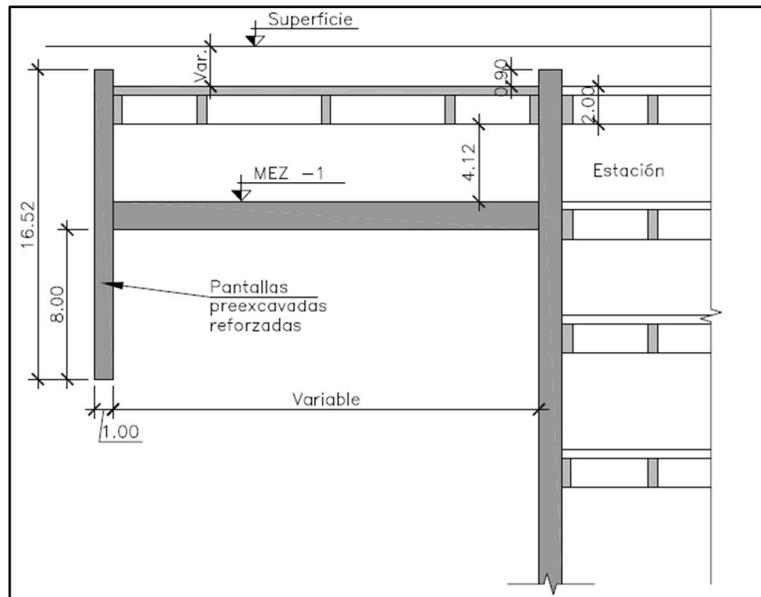


Figura 114. Sección transversal módulo de acceso estación E1
Fuente: UT MOVIUS 2022

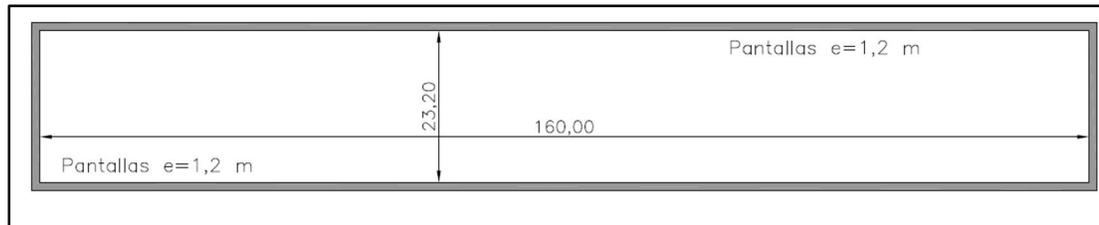


Figura 115. Planta típica estaciones E2 a E10
Fuente: UT MOVIUS 2022

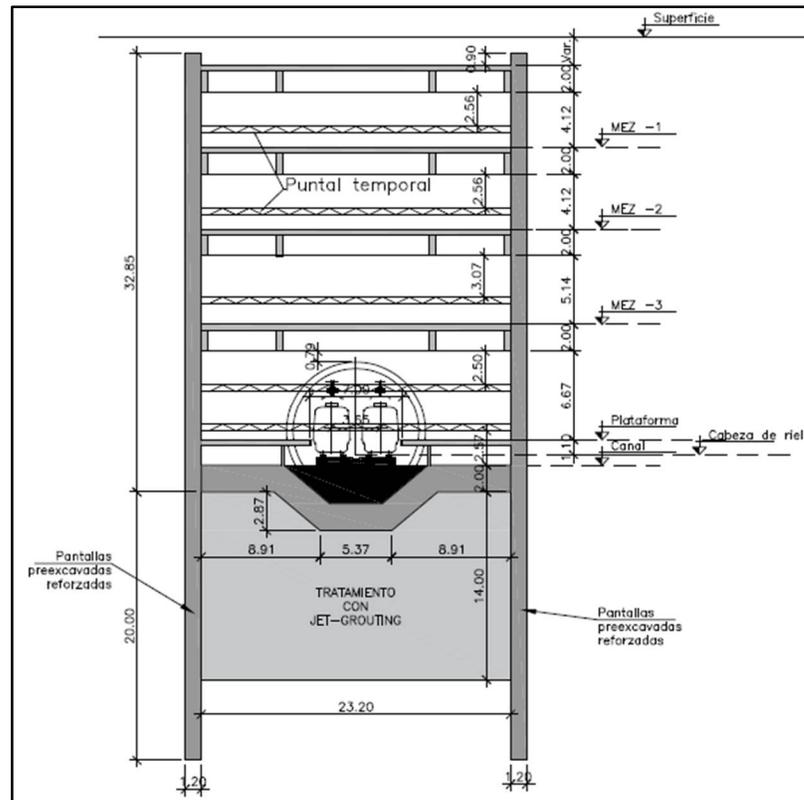


Figura 116. Sección transversal típica de las estaciones E2 a E10

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.2.3.2. Módulo de acceso principal tipo 1

Constituirá el acceso principal de las estaciones. Se ubicará sobre el cajón de la estación, como una extensión de su estructura. Contendrá dos escaleras mecánicas y una fija, y un ascensor integrado al volumen del módulo. Cada estación tendrá el número necesario de módulos tipo 1 en función del número de líneas de control de pasajes. Su espacio interno estará integrado al espacio del vestíbulo.

3.2.4.2.3.3. Módulo de acceso satelital tipo 2

Estará localizado por fuera del cajón de la estación, adosado lateralmente a la misma o al lado opuesto de una calle o avenida en un predio adquirido para ese fin específico. Será un módulo sencillo, que contendrá dos escaleras mecánicas y una fija, y un ascensor. Así mismo, dispondrá de espacio para parqueaderos bicicletas e instalaciones técnicas. Dependiendo del caso, se integrará a la estación ya sea por medio de una galería en túnel o mediante paso en superficie o puente peatonal.

3.2.4.2.3.4. Módulo de acceso satelital tipo 3

Será exclusivo para la Estación E3 – Av. 68, debido a que la proyección de su cajón estará bajo un intercambiador vial, dificultando el acceso de los peatones. Esta estación tendrá un módulo doble, derivado del concepto del módulo tipo 2, pero con mayor espacio para parqueaderos bicicletas e instalaciones técnicas.

A continuación se muestran algunos ejemplos de los accesos a las estaciones de la L2MB, donde se aprecian los módulos antes descritos:



Figura 117. Módulo de acceso tipo 1 en Estación E5
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 118. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación E4 (Av. Boyacá)
Fuente: UT MOVIUS 2022

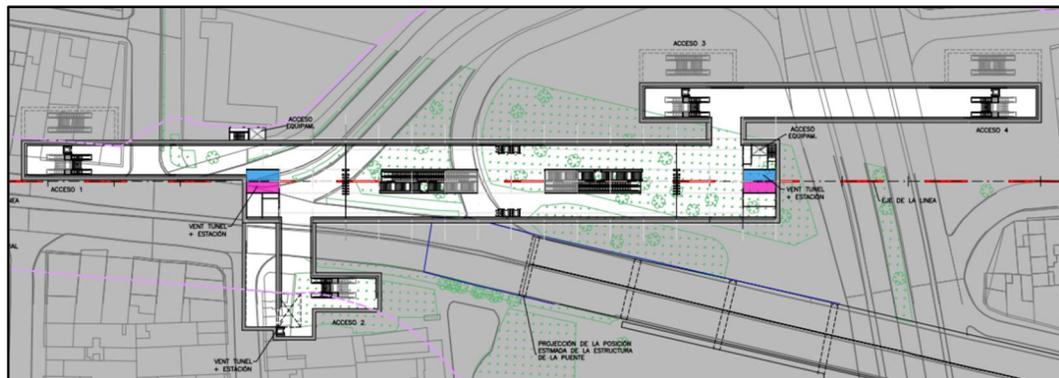


Figura 119. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación E3 (Av. 68)
Fuente: UT MOVIUS 2022

En complemento de los anteriores módulos de acceso, se prevén conexiones a estaciones de Transmilenio desde determinadas estaciones de la L2MB (E1, E2, E3, E4 y E6). Éstas se construirán con galerías entre el vestíbulo de la estación y un espacio libre de la estación Transmilenio, accediéndose con escaleras y ascensor.

Así mismo, la Estación E1 tendrá conexión a la Estación 16 de la PLMB. Ésta irá en pasarela elevada desde el acceso principal oriental de la E1 / L2MB hasta la Mezzanine de la E16 / PLMB.

En la Figura 120 se muestra un esquema de las galerías que conectarán las estaciones de la L2MB desde los accesos satelitales. Estas galerías se construirán con pantallas a cielo abierto, salvo casos excepcionales, como en la Av. 68, donde el acceso satelital ubicado al costado oriental de la misma se conectará a la estación mediante dos túneles independientes contruidos con sistema Liner¹, según se aprecia en la Figura 121.

¹ El sistema Liner, especial para para la construcción de túneles en suelos blandos, consiste en la excavación y ensamblaje interior, progresivo y simultáneo de placas de acero negras, galvanizadas, con recubrimiento epóxico, a las cuales se les instala revestimiento interior en concreto.

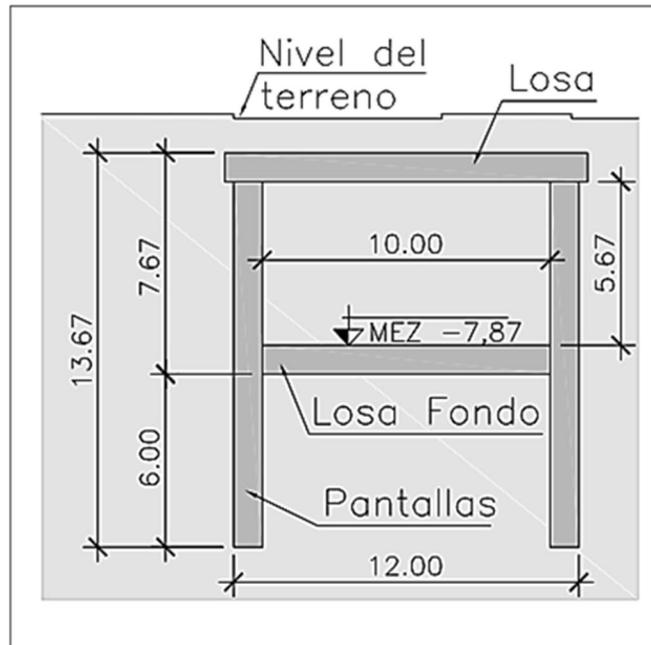


Figura 120. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones construidas con pantallas
Fuente: UT MOVIUS 2022

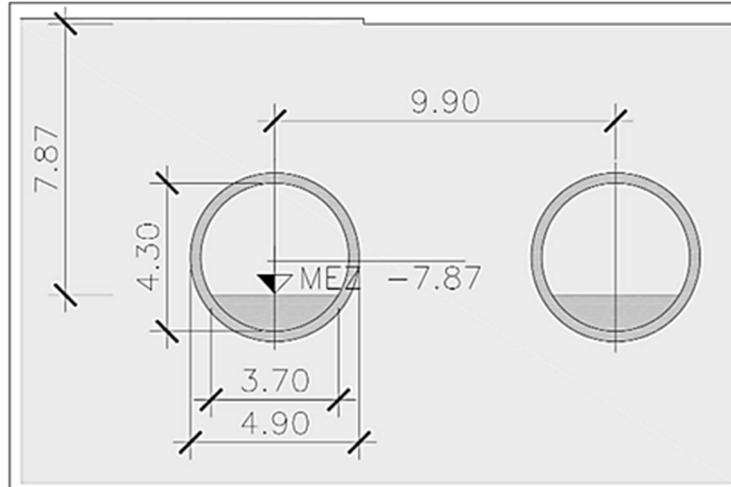


Figura 121. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones mediante túneles independientes construidos con sistema Liner
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.2.3.5. Estación elevada

El proyecto contempla la construcción de una estación elevada (Estación E11 Fontanar No. 11) en la calle 145 entre carreras 141b y 145.

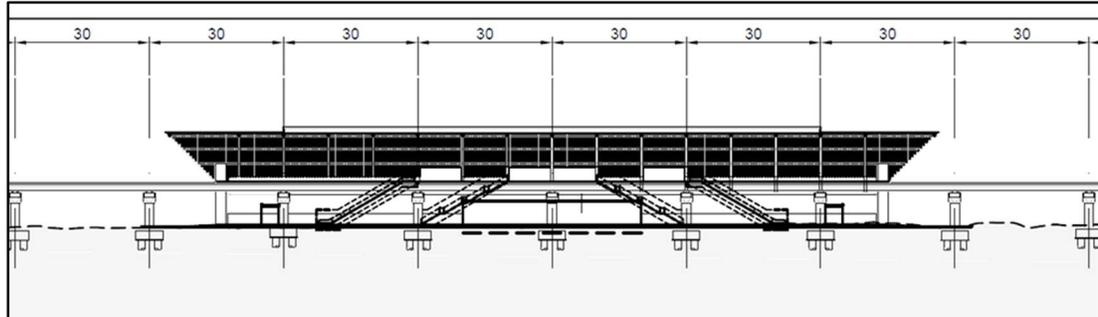


Figura 122. Perfil longitudinal del viaducto elevado en la zona de la Estación E11

Fuente: UT MOVIOUS 2022

Sus características son las siguientes:

- La distancia de la estación a las edificaciones existentes adyacentes varía entre los 16 y 20 m. Estas se componen de torres residenciales de 12 pisos al costado sur, y casas unifamiliares de entre 2 y 4 pisos al costado norte.
- El separador/plazoleta, con un ancho de 26,77 m y un área de 12.000 m², se extiende hacia el occidente y principalmente hacia el oriente (frente a la manzana correspondiente al Parque Fontanar del Río), de manera que se genera un importante espacio público de acceso a la estación.
- La estación posee dos plataformas laterales, con ancho libre de 4,50 m y largo útil de 140 m. Las plataformas están ubicadas en el nivel más elevado de la estación. Las escaleras fijas y mecánicas estarán ubicadas lateralmente, a lo largo del andén.
- El nivel de entrada al cuerpo de la estación se hace al nivel de superficie. En cada una de sus extremidades se tendrán dos líneas de bloqueos, control de pasajes y dos puertas de acceso.
- En la zona no paga están las máquinas de venta de billetes y cuartos operativos. A partir de la línea de bloqueos, se accede la zona paga y a los elementos de circulación vertical para subir a las plataformas, compuesto de escaleras fijas, escaleras mecánicas y ascensores.
- La estación se estructura sobre capiteles extendidos, que sirven tanto para la vía (viga gran U) y para los elementos de estación.
- La estructura de la cubierta de la estación se apoya sobre la viga cabezal y pila del viaducto.
- La estructura incluye una viga cajón metálica de apoyo de los andenes.
- La cubierta será de estructura y tejas metálicas con aislamiento termo-acústico con un lenguaje similar al de las estaciones de PLMB. La estructura de la cubierta permite el soporte de las catenarias rígidas y puede extenderse hacia fuera de la estación en todo el tramo elevado.

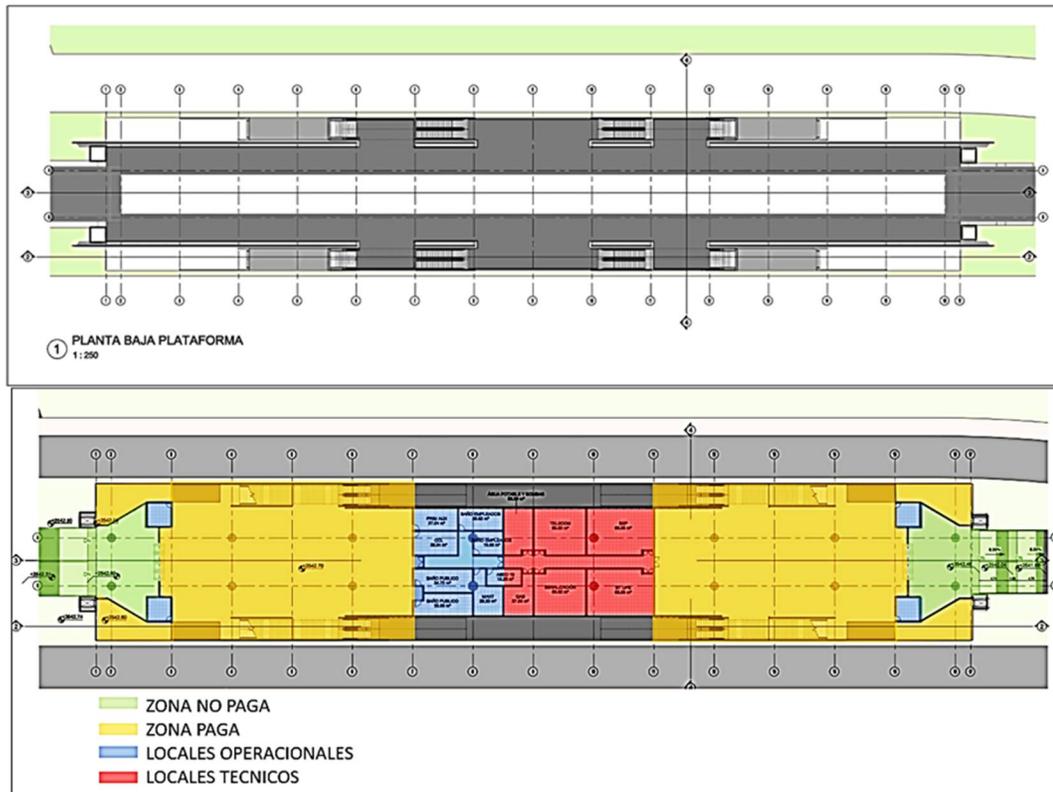


Figura 123. Planta baja plataforma y planta vestíbulo estación elevada E11
Fuente: UT MOVIUS 2022

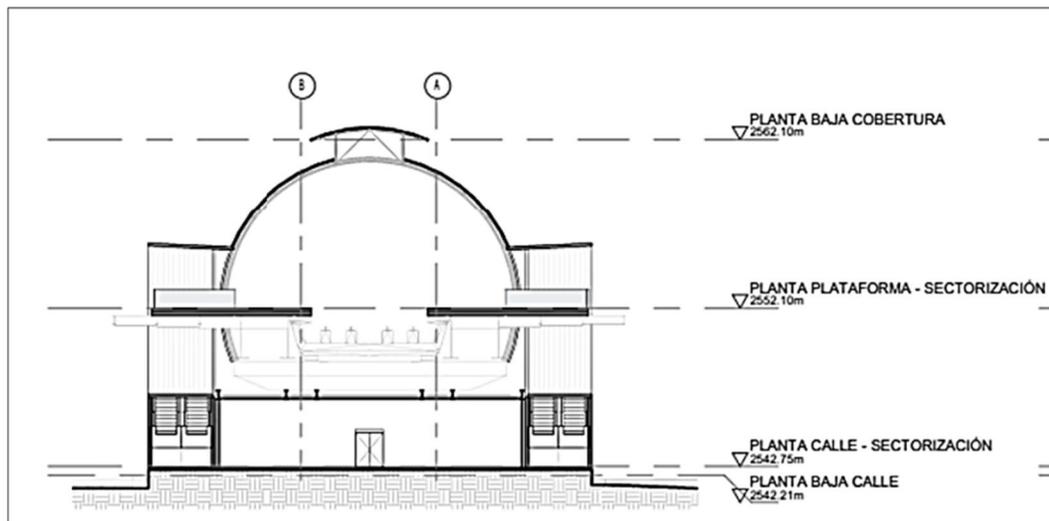


Figura 124. Sección transversal estación elevada E11
Fuente: UT MOVIUS 2022

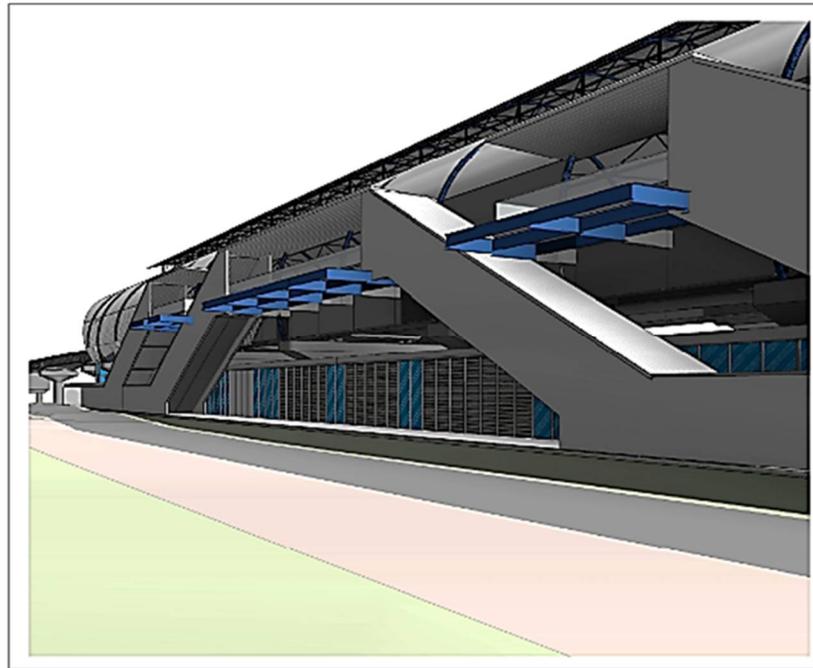


Figura 125. Fachada estación elevada E11
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.4.2.3.6. Infraestructura de ventilación de estaciones

Cada estación dispondrá de un sistema de ventilación que permitirá renovar de manera continua el aire y mantener dentro de los recintos una temperatura que brinde condiciones de confort aceptable para los usuarios.

Se previó la instalación de sistemas de suministro y extracción de aire para el control de la temperatura en las salas que albergan equipos electrónicos, y de la misma manera, sistemas de ventilación para las oficinas y salas técnicas que albergan equipos informáticos o dispositivos electrónicos.

En paralelo, se dimensionó un sistema de extracción independiente para el cuarto de basuras, cuartos de aseo, baños y vestidores. El sistema de extracción funcionará en el caso de ser necesario para la extracción de humo dentro de la estación, con el fin de lograr una correcta evacuación de las personas. El sistema de extracción se calculó con el 80% del suministro con el fin de mantener la estación en sobrepresión.

Se ha previsto que los equipos de ventilación se encuentren ubicados en el mezzanine -2, en la zona de locales técnicos. Se consideró un cuarto en cada costado de la estación. Uno de los cuartos albergará los equipos de suministro de aire fresco y el otro los equipos de extracción de aire viciado y de gestión de humos.

La toma de aire se realizará desde la superficie mediante un pozo vertical. De igual forma, la descarga de los humos se realizará a través de un pozo vertical que descargará a la superficie, con una alineación paralela al pozo de descarga del sistema de gestión de humos de los túneles.

Las condiciones ambientales consideradas para el diseño del sistema ventilación se indican en la siguiente tabla. Estos valores representan las condiciones máximas que sólo pueden darse en la ciudad de Bogotá el 1% del tiempo a lo largo de un año según lo establecido en el *ASHRAE Handbook—Fundamentals* y en los registros históricos IDEAM 1981-2010.

Tabla 43. Condiciones ambientales de diseño.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura de bulbo seco máxima promedio exterior de diseño	°C	20,8
	°F	69,5
Temperatura de bulbo seco mínima promedio exterior de diseño	°C	8,0
	°F	46,4
Temperatura de bulbo húmedo máxima promedio exterior de diseño	°C	13,5
	°F	56,3
Humedad relativa exterior	% H.R.	80%
Latitud	°N	4,45
Altitud	msnm	2505
Densidad del aire	kg/m ³	0,88

Fuente: Capítulo 14, *ASHRAE Handbook—Fundamentals* y Registro histórico IDEAM 1981-2010.

Las condiciones de diseño establecidas dentro de los locales de operación y locales técnicos fueron los siguientes:

Tabla 44. Condiciones internas de diseños locales

Tipo de recinto	Parámetro	Unidad	Valor	Fuente
Oficinas	Temperatura máxima en recinto	°C	22	ASHRAE Handbook—Fundamentals, Chapter 9. Human Thermal Comfort. Figure 5.
		°F	77	
Cuartos técnicos	Temperatura máxima en recinto grupo de tracción	°C	40	Requerimientos de equipos
		°F	104	
	Temperatura máxima en recintos técnicos diferentes al grupo de tracción	°C	35	
		°F	95	

Fuente: UT MOVIUS 2022

❖ Distribución de aire

Una vez definidos los requerimientos de cada cuarto en cuanto a caudales de extracción y de suministro, se establecieron formas diferentes de recircular el aire dentro de la estación, como se indica a continuación:

- **Suministro y extracción forzada:** Con este sistema de ventilación tanto la impulsión como la extracción de aire de las salas se realizará mediante un sistema mecánico de impulsión y extracción, es decir, mediante ventiladores. La impulsión y la extracción se realizarán mediante rejillas de impulsión y extracción, respectivamente.
- **Admisión y escape de forma natural:** Con este sistema se prevé la instalación de una rejilla de paso para la admisión de aire en la parte baja del tabique de la sala y otra rejilla de paso para la salida de aire en la parte alta del mismo tabique. Con esta entrada y salida de aire se producirá una ventilación natural de la estancia. Cuando los tabiques son resistentes al fuego se coloca una rejilla intumescente que se cierra mecánicamente en caso de incendio.
- **Suministro forzado y escape natural:** Se impulsará el aire que se empleará para ventilar de manera natural los cuartos técnicos contiguos a dicho pasillo mediante rejillas de paso en los tabiques. La impulsión de aire se realizará mediante un ventilador y el escape provisto de una rejilla de paso situada en la parte alta del tabique de la sala o recinto.
- **Admisión de aire y extracción forzada:** Con este sistema se colocará una rejilla de paso en la parte baja del tabique o puerta de la sala para garantizar la admisión de aire mientras que la extracción se realizará mediante un medio mecánico, es decir, un ventilador o caja de ventilación.

El sistema de suministro y extracción mecánica en locales técnicos y operativos se realizará teniendo cada sistema en costados opuestos del recinto, como se muestra en la siguiente figura.

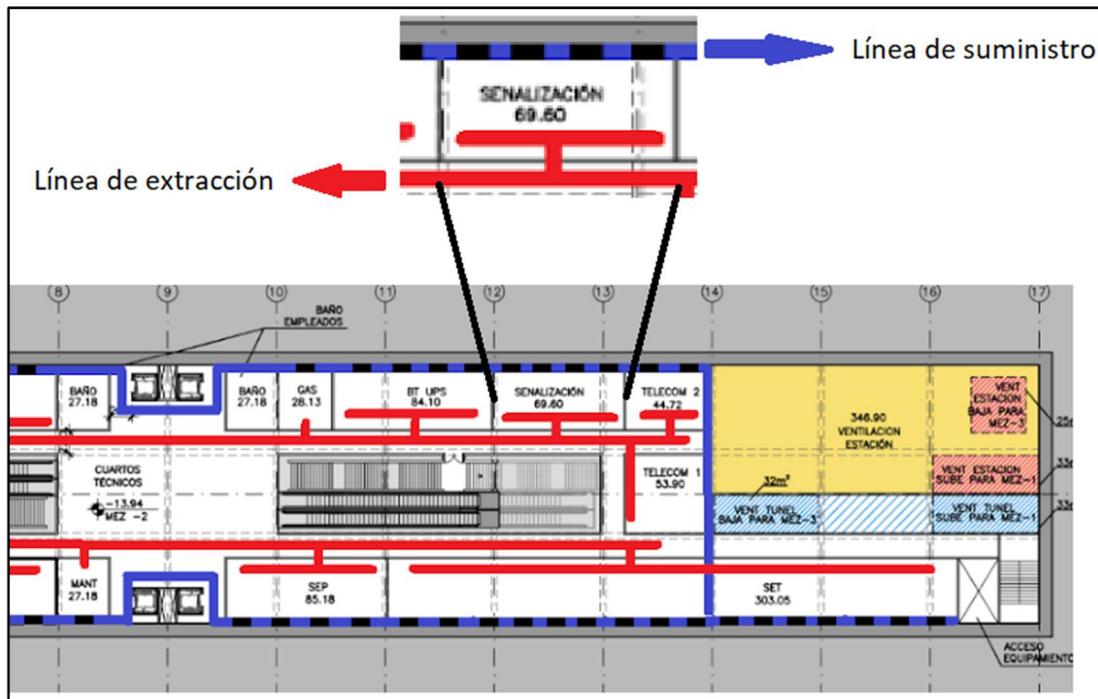


Figura 126. Esquema de distribución de aire dentro de recintos
Fuente: UT MOVIUS 2022

El suministro y extracción de áreas públicas se realizará de forma similar, es decir con suministro en los costados de los pasillos y extracción en el centro de la estación, como se muestra en la siguiente figura.

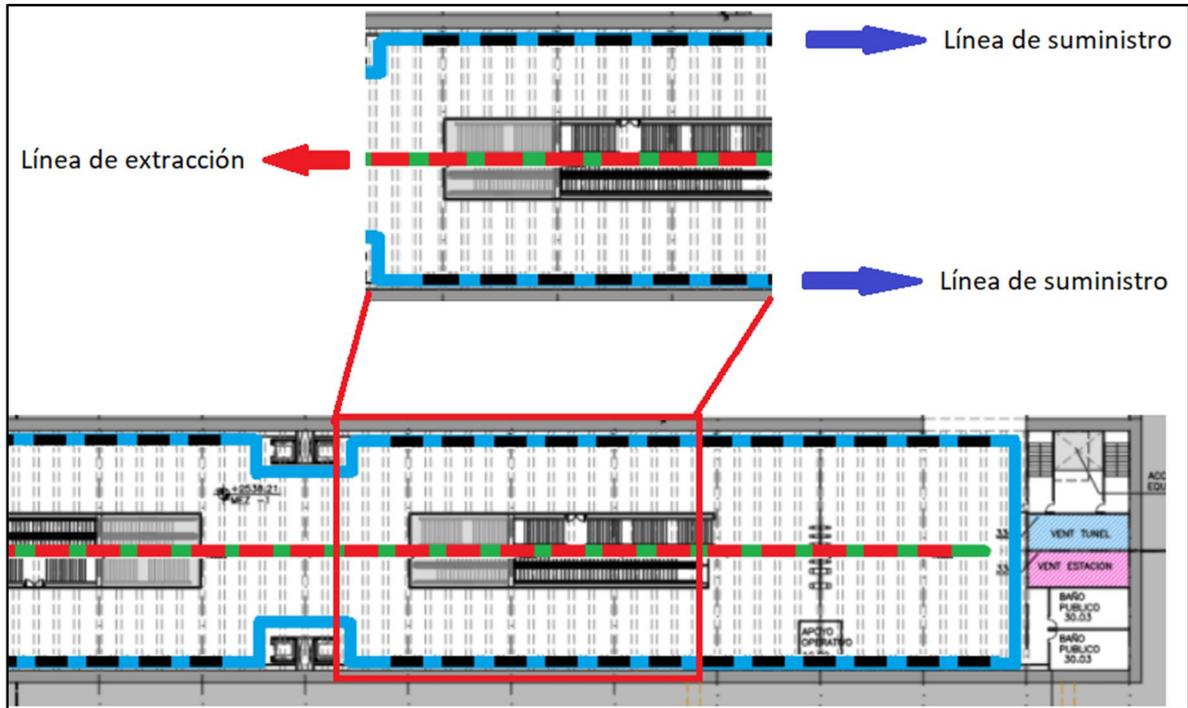


Figura 127. Esquema de distribución de aire en áreas públicas

Fuente: UT MOVIUS 2022

❖ Sistema de extracción

Con respecto a la extracción de aire, se tienen dos sistemas independientes para las siguientes áreas:

- Locales técnicos, áreas públicas de circulación y locales operativos.
- Baños, cuarto de aseo y cuarto de basuras

Se considera un sistema independiente para el cuarto de almacenamiento de basura, cuarto de aseo y baños con el fin de evitar el paso de malos olores hacia otros recintos.

Se contará con un sistema de extracción de aire con dos ventiladores de la misma capacidad que permitan redundancia en la extracción de aire viciado para los locales técnicos, locales operativos y áreas de circulación pública.

Se considera que para aquellos recintos con presión negativa tales como cuarto de basuras, baños públicos y locales de almacenamiento, se deben instalar rejillas de paso (R.P) en las puertas cuya área permite una velocidad de flujo de 1,5 m/s del aire desde los recintos contiguos hacia el interior de los mismos.

Tanto la toma de aire fresco como la descarga de aire viciado se realizará sobre el cuarto de ventilación mediante "chimeneas" o ductos dedicados, los cuales han sido diseñados para cumplir el área mínima requerida por los equipos de ventilación.

❖ Sistema de extracción de humo

El sistema para extracción de humo en las estaciones será apto para garantizar las condiciones de evacuación de los usuarios y las condiciones óptimas para el acceso de los servicios de emergencia.

El sistema de humos estará coordinado con los sistemas de suministro y extracción, de tal manera que en caso de que los detectores de la estación detecten un incendio en un área pública, los ventiladores de suministro de la estación se detendrán y entrarán a funcionar los ventiladores de extracción a la potencia y caudal requerido según los parámetros calculados de caudal para extracción de humo.

En cada uno de los niveles de la estación se dispondrán de redes de conductos de suministro de aire fresco y extracción de aire viciado. Estos últimos entrarán en funcionamiento dado el caso de un incendio concentrando la extracción en el lugar del incendio, con ayuda del funcionamiento de *dampers* a través del sistema.

A su vez, para asegurar la adecuada evacuación de la estación y evitar que pudieran verse afectados los recintos vecinos, estos se mantendrán en sobrepresión.

Según el diseño arquitectónico de las estaciones, la estación cuenta con áreas públicas y áreas privadas donde para las áreas públicas se encuentran en el mezzanine -1, mezzanine -3 y mezzanine -4 (plataformas). Dicho lo anterior, el sistema de ventilación de la estación en cuanto a gestión de humo está diseñada y dimensionada únicamente para para las áreas públicas, dado que un incendio en las áreas no públicas (locales técnicos, en general mezzanine -2) se combatirá por diferentes métodos, incluyendo gases inertes, extintores, *sprinklers*, etc.

El diseño del sistema de gestión de humo está diseñado únicamente contemplando un incendio a la vez según NFPA 92 *smoke control systems*. El diseño contempla el incendio en el lugar más crítico, siendo éste el ubicado al lado de una escalera donde las personas buscarán la evacuación.

Para el diseño del sistema se tuvieron en cuenta los siguientes escenarios::

- Incendio en el mezzanine -1
- Incendio en el mezzanine -3
- Incendio en plataformas
- Incendio en mezzanine -2

A continuación se describe la filosofía de operación para cada uno de los mismos:

- **Incendio en plataformas:** Como se contempla un incendio a la vez, éste sólo se puede dar en una de las dos plataformas al mismo tiempo. En el momento que el sistema contra incendio de la estación detecte un incendio, se desactiva el suministro de aire fresco en ese piso y sólo estaría en funcionamiento la extracción en la plataforma. En cuanto a los demás pisos, y con el fin de mantener el resto de la estación en sobrepresión, el suministro normal en el resto de la estación estará en operación. Las plataformas contarán con un cuarto de pánico especial para las personas con discapacidad móvil, como se muestra en la Figura 129. Este cuarto estará ventilado y presurizado según la NFPA 92 *smoke control systems*.

	Suministro	Extracción
Mez -1	ON	OFF
Mez -2	ON	OFF
Mez -3	ON	OFF
Andenes	OFF	ON

Fuego en Andenes

Figura 128. Filosofía de operación incendio en plataformas

Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 129. Ubicación cuartos de pánico para discapacitados

Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Incendio en mezzanine -3:** En el momento que el sistema contra incendio de la estación detecte un incendio se desactiva el suministro de aire fresco en ese piso y sólo estaría en funcionamiento la extracción en el mezzanine -3. En cuanto al resto de pisos encima de este, estarán con el suministro de aire encendido y extracción apagado, excepto plataformas, las cuales tendrán los dos sistemas apagados, tanto suministro como extracción, con el fin de evitar oxigenar el fuego por medio de las comunicaciones entre los pisos de abajo.
- **Incendio en mezzanine -1:** Con incendio en el mezzanine -1 los sistemas de suministro de toda la estación se apagan y la extracción de la estación se centra en el mezzanine -1.

	Suministro	Extracción
Mez -1	ON	OFF
Mez -2	ON	OFF
Mez -3	OFF	ON
Andenes	OFF	OFF

Fuego en Mez-3

Figura 130. Filosofía de operación incendio en mezzanine -3
Fuente: UT MOVIUS 2022

- **Incendio en mezzanine -2** : Dado que en el mezzanine -2 cuenta con cuartos técnicos y operativos únicamente, estos en caso de incendio serán tratados con gases inertes, sprinkles o extintores; todo depende del requerimiento del cuarto en caso de incendio.

	Suministro	Extracción
Mez -1	OFF	ON
Mez -2	OFF	OFF
Mez -3	OFF	OFF
Andenes	OFF	OFF

Fuego en Mez -1

Figura 131. Filosofía de operación incendio en mezzanine -1
Fuente:UT MOVIUS 2022

❖ Selección de equipos

Los equipos de extracción serán especificados para resistir 400°C por 2 horas. Dispondrán de su respectivo conjunto de poleas, correas y protectores según norma ISO-13857, Homologación y según norma EN 12101-3. La temperatura máxima del aire a transportar será de 150°C +/- 25°C y el acabado anticorrosivo en chapa será de acero galvanizado.

3.2.4.3. Alimentación de energía eléctrica

El sistema de alimentación de la tracción de la L2MB será a través de una tensión de 1500 V con catenaria rígida. El estudio de factibilidad permitió definir esta tecnología de alimentación tracción como la solución que ofrece en relación con las características de la L2MB (en su mayoría subterránea) el mejor balance beneficios costos frente a otras soluciones como el 750 V con tercer riel 1500 V con catenaria flexible.



Figura 132. 1500 V con catenaria rígida en túnel
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.4. Localización de las subestaciones eléctricas

La alimentación de alta tensión para la L2MB se realizará mediante dos SER², con las siguientes características:

a) SER 1 No Redundante vecina a la Subestación Castellana de Codensa

- Conexión a 2 circuitos 115 KV, aéreos
- Equipos de maniobra alta tensión encapsulado GIS
- Un Transformador de poder de 40 MVA 115/34,5 KV
- Un interruptor general MT y 2 alimentadores a los anillos de 34,5 KV de la línea
- 2 Transformadores 100 KVA de servicios auxiliares
- Equipos de control, protección y respaldo auxiliares
- SCADA Energía
- Superficie requerida: 600 m²
- Canalización por multipuntos MT hasta estación NQS
- Filtros de Armónicas y Compensador Reactivos SVC

² El proceso de permisos ambientales asociado a estas dos subestaciones estará a cargo de un tercero.

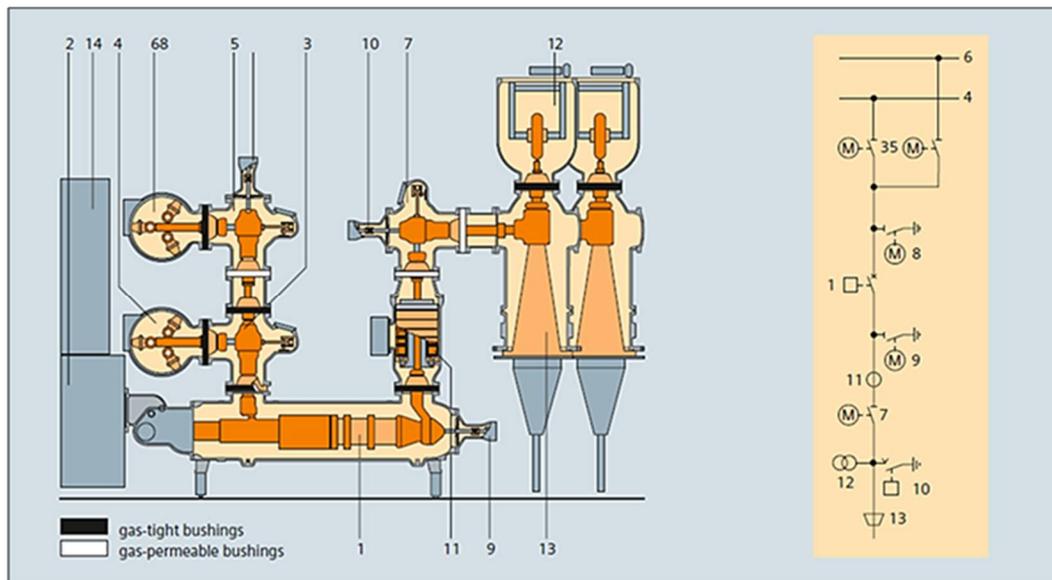


Figura 133. Componentes y unilínea de SER GIS no redundante
Fuente:UT MOVIUS 2022

b) SER Redundante ubicada en Talleres, compartida con Codensa

- Conexión a 2 circuitos 115 KV, aéreos, independientes
- Equipos de maniobra alta tensión encapsulado GIS
- Dos Transformadores de poder de 40 MVA 115/34,5 KV
- Cada transformador con un interruptor general MT y 2 alimentadores a los anillos de 34,5 KV de la línea
- 4 Transformadores 100 KVA de servicios auxiliares (2 redundantes por semi barra)
- Equipos de control, protección y respaldo auxiliares redundantes
- Scada Energía
- Superficie Requerida: 3600 m² (para Codensa y Metro)
- Canalización MT por Multiductos hasta enlace Vías Principales
- Filtros de Armónicas y Compensador Reactivos SVC

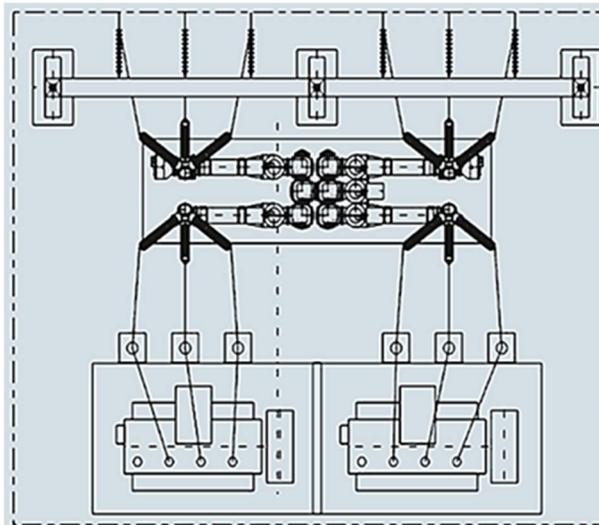


Figura 134. Solución GIS de SER redundante
Fuente: UT MOVIUS 2022

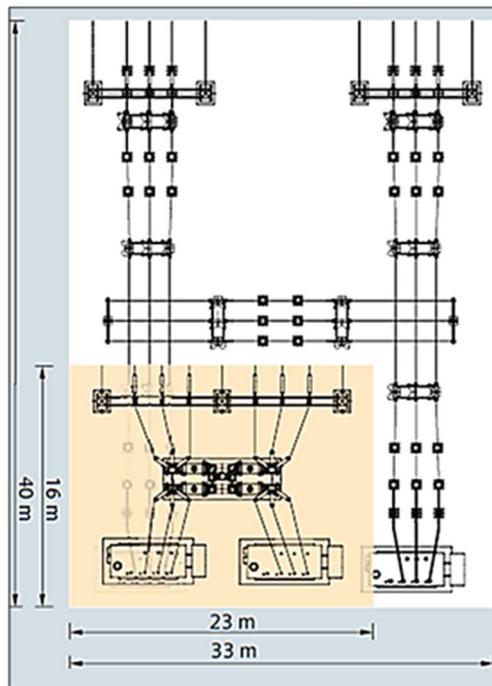


Figura 135. Unilineal de SER redundante
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.5. Descripción de las obras de infraestructura asociadas

3.2.4.5.1. Características de la solución de distribución media tensión

La Distribución de Media Tensión se realizará en 34,5 kV a través de alimentadores conectados a las dos SER. Los alimentadores de MT proporcionan energía a las Subestaciones de Tracción (SET) y a los Centros de Transformación de Energía (CT).

La distribución de MT se configura mediante dos anillos, donde cada anillo está conectado con las SER Castellana y SER Talleres, esta última SER es doble.

La configuración en anillos de distribución entrega la alimentación en energía a los CTE en cada una de las estaciones y de las SET en las estaciones que está proyectado por diseño para la alimentación de tracción.

El disponer de la configuración de 2 anillos a lo largo de la línea proporciona la seguridad de alimentación en modo normal, como también en modo degradado.

En el modo normal cada alimentador que proviene de la SER está definido para entregar energía a una cierta cantidad de CT y SET, de tal forma que los niveles de cargas sean equivalentes para cada alimentador, no obstante, en caso de falla de algún elemento, estas se pueden reconfigurar a través de los interruptores que tienen las barras colectoras.

De acuerdo con lo anterior, cada anillo MT deberá alimentar las SET y los CTE de tal manera que en caso de que se presenten dos equipos defectuosos (modo N-2), en cualquier parte de la red de MT, las SET y los CTE alimenten todas las cargas en condiciones normales.

Las barras colectoras deben ser comunes para la alimentación de los CTE y SET, con un interruptor (Circuit-breaker) para la llegada y el otro para la salida del anillo de MT.

A continuación se presenta un esquema de la configuración base de anillos de MT:

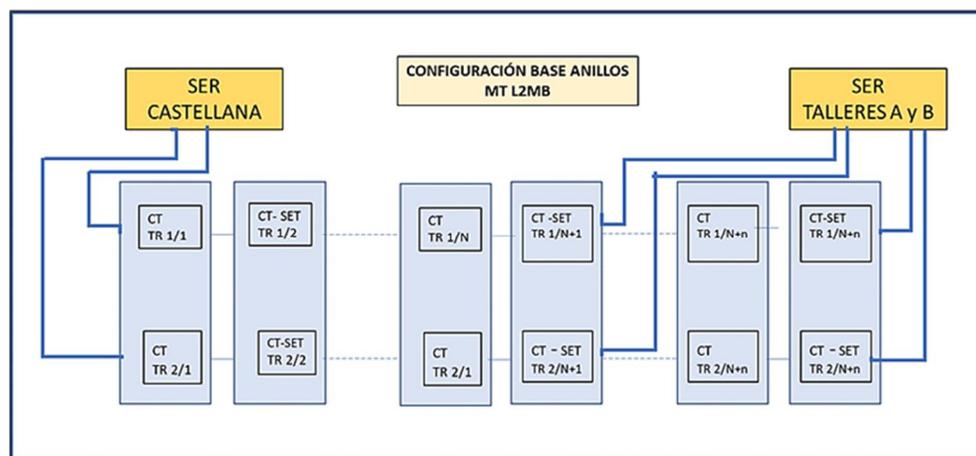


Figura 136. Configuración base de 2 anillos de MT
Fuente: UT MOVIUS 2022

❖ Modos de operación

En modo normal, cada anillo debe alimentar la línea desde la SER La Castellana (Simple) y SER Talleres (Doble), en bucle abierto.

En modo degradado, los anillos deben alimentar la línea desde uno de los alimentadores de la SER y el otro de la SER La Castellana o desde una sola SER, según el nivel de falla que se haya producido.

La siguiente tabla presenta los modos de operación de las SER, frente a las diferentes situaciones de fuera de servicio que se pueden presentar en cada una de ellas.

Tabla 45. Modos de operación

MODO	SER Fuera de Servicio	SER TALLERES		SER CASTELLANA
		TR-A	TR-B	TR
NORMAL	Ninguna	X	X	X
N-1	SER Tall TR-A		X	X
	SER Tall TR-B	X		X
	SER Castellana	X	X	
N-2	SER Talleres TR A y B			X
	SER Tall TR-A y Castellana		X	
	SER Talleres TR-B y Castellana	X		

Fuente: UT MOVIUS 2022

❖ Centro de transformación de energía

Para la Alimentación Alumbrado y Fuerza Estaciones, Túnel y Talleres, en cada estación existirán dos Centros de Transformación (CT), cada uno conectado a un anillo diferente de media tensión. Cada CT estará conformado por un transformador de distribución 34,5/0,208 kV para la alimentación de los consumos de baja tensión de la estación.

La capacidad de cada uno de los transformadores de los C deberá ser capaz de asumir toda la carga del otro transformador de forma permanente.

A nivel de baja tensión (0,208 kV) se contempla una barra de consumos críticos que puede ser alimentada por uno u otro transformador, mediante un dispositivo de transferencia automática

Los CT deben transformar la energía a la tensión de utilización y entregan la energía a los tableros correspondiente:

- 208/120 V (3F+N+T) para las estaciones, el patio-taller, las SER y el CCO.
- 480V/277V (3F+N+T) para la utilización de ventilación forzada, SCI y algunos equipos del patio/taller.

En el caso de las SER y el CCO para efectos de tener redundancia, los CT deberán tener dos transformadores, con los dispositivos que permitan una transferencia de las cargas en caso de que uno de ellos esté fuera de servicio.

En el patio-taller se dispondrá de CTs con redundancia, con la capacidad suficiente para alimentar todas las cargas de baja tensión.

Cada transformador será capaz de suministrar toda la carga en forma permanente, en caso de ausencia de uno de ellos.

Cada transformador de un CT será alimentado por uno de los dos anillos.

En las figuras siguientes, a modo de ejemplo, se presentan los componentes principales a nivel de las barras de MT.

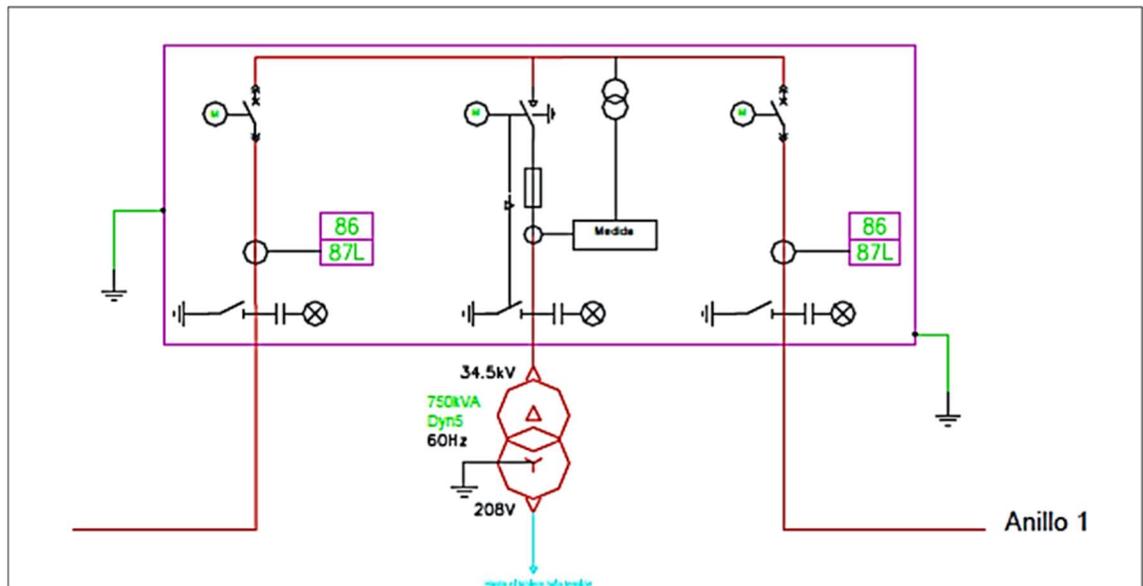


Figura 137. Interruptores y barras principales de CT anillo 1 y 2
Fuente: UT MOVIUS 2022

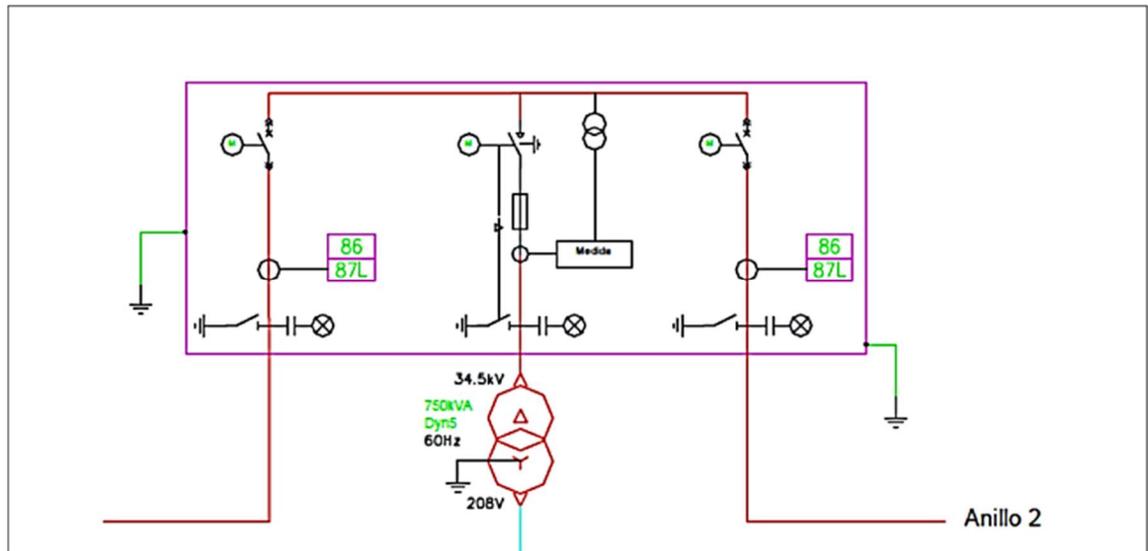


Figura 138. Interruptores y barras principales de CT anillo 1 y 2

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.5.2. Sistema mecánico de enclavamiento con llaves

Para garantizar los procesos de mantenimiento en condiciones de máxima seguridad, los CT dispondrán de un sistema de enclavamiento de llaves mecánicas de los equipos para el trabajo al interior de las celdas de MT.

El sistema de bloqueo mecánico de llave garantizará que el personal de mantenimiento realice la correcta desenergización y puesta a tierra de los equipos, para permitir el acceso a las celdas sin riesgos de accidentes ante conexiones imprevistas, mientras se está interviniendo en las celdas.

3.2.4.5.3. Características de la solución de alimentación tracción y talleres

Las subestaciones bigrupos de la línea tendrán las siguientes características:

- Conexión en 34,5 kV a los Centros de Transformación de la estación respectiva, el grupo A al CT1 y el grupo B al CT2
- Cada grupo estará constituido básicamente por:
 - ◆ Celda MT (Interruptor, seccionador, módulo multifunción)
 - ◆ Transformador seco tres enrollados 4,5 MVA
 - ◆ Rectificador de diodos dodecafásico 4 MW (*)
 - ◆ Seccionador bipolar 1500 V
 - ◆ Interruptores ultrarrápidos 1500 V
 - ◆ Control y protecciones
 - ◆ Scada energía
 - ◆ Servicios auxiliares

◆ Filtros armónica

Los equipos tendrán refrigeración natural y existirá una ventilación forzada del recinto para asegurar una temperatura ambiente máxima de 40°C.

La subestación rectificadora de talleres será de tipo mono grupo y podrá ser alimentada en Media Tensión desde uno u otro CT de talleres, mediante un seccionador inversor manual.

Las características serán similares a las de un grupo de las subestaciones de línea, existiendo adicionalmente una protección limitadora de tensión riel-tierra.

3.2.4.6. Fuentes alternativas de generación de energía

Dada la alta confiabilidad del sistema eléctrico con las dos SER de alimentación en alta tensión (115 kV) y de los dos los anillos a 34,5 kV, con modo de degradación N-2, no se consideran otras fuentes alternativas de generación de energía.

3.2.4.7. Infraestructura preexistente y su relación con las obras a ejecutar

Dentro de la infraestructura existente en el proyecto, se identifican líneas de alta tensión 115 kV, redes de media tensión 11,4 kV y redes baja tensión y alumbrado público mixtas 208/120 V. las líneas de 115 kV no presentan interferencia con el proyecto y las redes de media y baja tensión que se identifican en la zona de implantación de estaciones, accesos, pozos de evacuación, viaducto, estación elevada y patio taller se reubicarán de tal manera que no interfieran con el proyecto cumpliendo con la normatividad del operador de red ENEL Colombia y del POT

3.2.4.8. Sistemas y fuentes de generación de energía para las subestaciones

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN EN MEDIA TENSIÓN (CTE) 34,5 kV

Los niveles de tensión a utilizar serán a 34,5 kV con distribución en dos anillos para redundancia del sistema y para alimentación de los CTE, la alimentación de las cargas eléctricas en baja tensión para equipos electromecánicos de fuerza será implementada con nivel de tensión a 480/277 V, y para cargas de iluminación, tomacorrientes, telecomunicaciones, cargas críticas a 208/120 V.

A continuación se relaciona la potencia de los transformadores requeridos en cada subestación de media tensión (CTE):

Tabla 46. Centros de transformación en MT

Centros de transformación en media tensión (CTE) 34,5 kV			
Estaciones	Ventilación+RCI	Auxiliares de la Estación	Pozos de ventilación

Centros de transformación en media tensión (CTE) 34,5 kV			
	kVA(34,5/0,480kV)	kVA(34,5/0,208kV)	kVA(34,5/0,480kV)
Calle 72	500	500	500
NQS	500	500	500
Cra 80	500	500	500
Av Boyacá	500	500	500
Ciudad de Cali	500	500	500
Cll 80	500	500	500
Cra 91	500	500	500
Humedal	500	500	500
ALO Sur	500	500	500
ALO Norte	500	500	500
Fontanar		500	500
Patio Taller		1250	
Patio Taller		500	
Patio Taller	225		

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.4.9. Cálculo del campo electromagnético y su impacto en la operación

La alimentación eléctrica del proyecto llega a subestaciones de ENEL Codensa, las cuales no forman parte de la L2MB. Por lo tanto, en términos de presencia de líneas de alta tensión y su campo electromagnético, no se prevén afectaciones directas hacia los componentes del proyecto y la comunidad.

No obstante, se ha previsto que los componentes del sistema ferroviario sean electromagnéticamente compatibles entre ellos y electromagnéticamente compatibles con sistemas cercanos al entorno del Metro.

Todos los equipos y aparatos eléctricos y electrónicos suministrados y/o instalados en la L2MB funcionarán correctamente dentro del entorno correspondiente. Dicho entorno incluye la ferrovía (considerando entre otros las áreas de vías, áreas de estaciones, viaductos, centros de control operativo, salas técnicas, almacenes, patios y terminales), así como otros sistemas en el entorno del Metro a lo largo de su recorrido.

Durante las etapas de construcción y operación se implantará un sistema constante de actividades de control de CEM (Compatibilidad Electromagnética) que incluya los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de la norma EN 50121 Aplicaciones Ferroviarias: Compatibilidad Electromagnética
- Estudio particular de la corrosión provocada por las posibles corrientes vagabundas de tracción, tanto en la propia infraestructura de la L2MB como en infraestructura de terceros agentes
- Medición del entorno electromagnético a lo largo de la traza de la L2MB, previa a la puesta en servicio
- Plan de medidas para determinar el entorno electromagnético a lo largo de la L2MB tras su puesta en servicio
- Sistemas y equipamiento sin producción de emisiones electromagnéticas que puedan resultar perjudiciales para las personas (usuarios o peatones), incluso aquellos con condiciones médicas especiales (marcapasos, etc.)

3.2.4.10. Protección contra descargas atmosféricas y corrientes parásitas

En el diseño de factibilidad se ha contemplado un sistema de protección contra descargas eléctricas de origen atmosférico. Este sistema se implementará a lo largo del tramo en viaducto y en las vías férreas del patio-taller por la presencia de catenarias en zonas de intemperie, y se conectará al sistema eléctrico de puesta a tierra.

Para las edificaciones en superficie se consideraron los riesgos por impactos de rayos de acuerdo con los lineamientos indicados en la norma NTC 4552: Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos).

En conjunto con el estudio de riesgos por impactos de rayos, se analizó el sistema de puesta a tierra a partir de los requerimientos establecidos en el RETIE artículo 15 "SISTEMA DE PUESTA A TIERRA", "...para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla...". Igualmente, se consideraron los requerimientos establecidos en las normas del Operador de Red.

Todos los sistemas de puesta a tierra estarán interconectados entre sí de acuerdo con lo establecido en el artículo 15.1 del RETIE "REQUISITOS GENERALES DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA" numeral e).

Los campos electromagnéticos generados por el sistema eléctrico serán mitigados y anulados con el sistema de puesta a tierra interconectado a las estructuras de las edificaciones.

3.2.5. Infraestructura asociada al proyecto

3.2.5.1. Campamentos permanentes

No se prevé la necesidad de habilitar campamentos permanentes para la construcción de las obras.



3.2.5.2. Campamentos transitorios

Se prevén campamentos transitorios durante la construcción de las siguientes obras en zonas adyacentes a los sitios donde estas se localizan:

- Pozos de entrada y salida de la tuneladora
- Pozos de ventilación, evacuación y bombeo
- Estaciones subterráneas
- Patio taller (igualmente utilizados para la construcción del viaducto y la estación elevada E11).

3.2.5.3. Patios de prefabricados

Se prevé un patio de prefabricación de dovelas para el revestimiento del túnel en el área 3 de la Figura 139, véase numeral [1.2.6.5 Sitios de acopio y almacenamiento de materiales](#).

3.2.5.4. Área de acopio de residuos

Véase numeral siguiente [1.2.6.5 Sitios de acopio y almacenamiento de materiales](#).

3.2.5.5. Sitios de acopio y almacenamiento de materiales

En la Figura 139 se presentan de forma esquemática las áreas que servirán para la logística para la construcción del túnel con máquina TBM (Sistema EPB) en el frente de ataque por el pozo de entrada. Se prevén al menos cuatro de dichas áreas, según se describe en la Tabla 49.

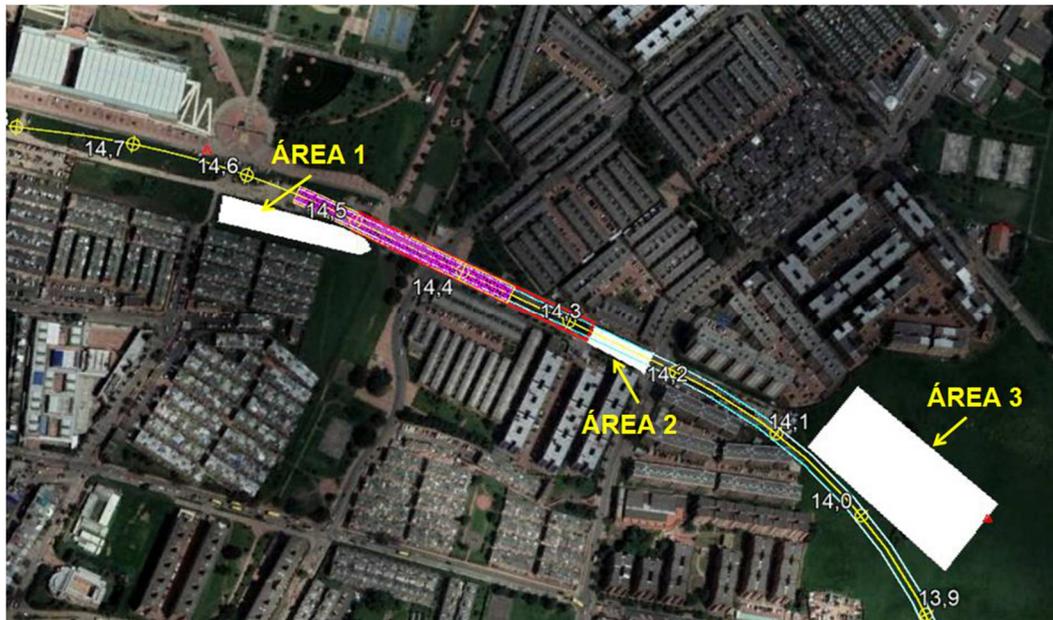


Figura 139. Áreas de logística frente de ataque pozo de entrada.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Tabla 49. Áreas posibles para logística de construcción del túnel en el frente del portal de entrada

ZONA	ÁREA (m ²)	SERVICIO
1	2500	Sistema de acopio temporal y recolección de materiales provenientes de la excavación del túnel
2	850	Sistema de ventilación y ducto, sistema de energía y estructura de enlace de la banda transportadora
3	10000	Zona de almacenamiento de dovelas, planta de dovelas, almacén, patio de acopio de materiales para agregados pétreos para concreto, planta de concretos y/o silos, almacenamiento de aceites lubricantes y combustibles

Fuente: UT MOVIUS 2022

A manera de referencia, en la Figura 140 se presentan vistas de facilidades logísticas en el pozo de ingreso de la tuneladora tipo EPB (de diámetro similar a la L2MB), en la Línea 2 del Metro de Lima. Se observan talleres, oficinas, zonas de depósito y recolección de material que llega por la banda transportadora, ducto y ventilador entre otros.



a. Talleres y zona de acopio



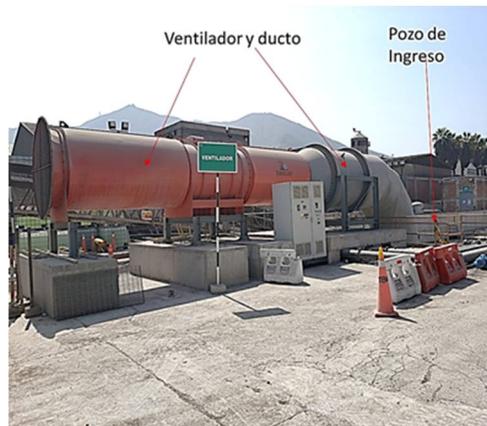
b. Oficinas y comedores



c. Puente grúa y zona de manipulación de dovelas



d. Zona de depósito de llegada de material del túnel – Banda transportadora



e. Ventilador y ducto

Figura 140. Facilidades logísticas Línea 2 Metro Lima, Perú, actualmente en construcción
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.5.6. Sitios de acopio y almacenamiento de combustibles

Se prevé almacenamiento de combustibles en el área 3 de la Figura 139, véase numeral [1.2.6.5 Sitios de acopio y almacenamiento de materiales.](#)



3.2.5.7. Almacenamiento de aceites lubricantes

Se prevé almacenamiento de aceites lubricantes en el área 3 de la Figura 139, véase numeral [1.2.6.5 Sitios de acopio y almacenamiento de materiales](#).

3.2.5.8. Movimientos de tierras

Véanse numerales [1.2.3.3 Diagrama de masas \(material de relleno y excavación\)](#) y [1.2.3.4 Volumen estimado de remoción de la vegetación y descapote](#).

3.2.5.9. Sitios para disposición de material sobrante dentro de los campamentos

El material sobrante de las obras se almacenará temporalmente en los sitios donde se ubicarán los campamentos transitorios previstos, véase numeral [1.2.6.2 Campamentos transitorios](#).

3.2.5.10. Fuentes de materiales y plantas de procesos

3.2.5.10.1. Localización de posibles fuentes de proveedores agregados pétreos.

A continuación se presentan las posibles fuentes de materiales y zonas de depósito.

Las fuentes de materiales de agregados pétreos se encuentran ubicadas en zonas montañosas evidenciando las canteras con disponibilidad de material rocoso, las cuales, dependiendo de sus características litológicas, mineralógicas, texturales, alteraciones y las distancias a los puntos de consumo pueden resultar de interés.

De la lista de proveedores publicada por el IDU el 31 de julio de 2020, se identificaron las siguientes fuentes de materiales potenciales para el proyecto, las cuales se encuentran más cercanas al eje del proyecto. Debido a que no se cuenta con ensayos de laboratorio, se recomienda verificar la información de caracterización de materiales al momento de la ejecución del proyecto.

Tabla 47. Lista de proveedores IDU - Agregados Pétreos

Registro IDU No.	Cantera	Empresa	Distancia (km)
12	CANTERA EL PENCAL VEREDA BALSILLAS	INGENIEROS GF SAS - (GALVIS FRACASSI)	19,47
25	CANTERA CERRO GRANDE- VEREDA BALSILLAS KM 4,5 VÍA LA MESA	DOBLE A INGENIERIA S.A.S	20,22
68	KM 4.5 VÍA VEREDA FUZUNGA - CANTERA CUEVA DEL ZORRO.	TEQUIA GONZALEZ FANNY ISABEL	19,90

Registro IDU No.	Cantera	Empresa	Distancia (km)
87	CANTERA VILLA PAULA, VEREDA MOCHUELO, LOCALIDAD CIUDAD BOLÍVAR	MINER GROUP SAS	20,88
373	CANTERA BELLAVISTA, UBICADA EN EL PARQUE MINERO INDUSTRIAL EL MOCHUELO, EN LA VEREDA PASQUILLA, DE LA LOCALIDAD CIUDAD BOLÍVAR	GILDARDO RODRIGUEZ VARGAS	20,86
405	CALLE 72 B BIS SUR No. 31 - 54, SECTOR ARBORIZADORA ALTA, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR	COMPAÑÍA MINERA LA SACAN S.A.S. – LA SACAN S.A.S.	17,96
455*	KILÓMETRO 3.5, EN LA VEREDA BALSILLAS	INCOMINERIA S.A.S	20,35

* Proveedor que pierde vigencia en los próximos 4 meses

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.5.10.2. Localización de posibles fuentes de mezclas asfálticas.

Basados en la lista de proveedores del IDU, se seleccionaron cuatro proveedores potenciales de mezclas asfálticas para atender las necesidades del proyecto. Estas opciones se escogieron teniendo en cuenta la vigencia, disponibilidad y distancia al proyecto. En la Tabla 48 se presenta la información relacionada con la empresa y ubicación.

Tabla 48. Lista de proveedores de mezclas asfálticas

Registro IDU No.	Ubicación	Empresa	Distancia (km)
75	PREDIO VISTAHERMOSA No. 50C-1434220, VEREDA BALSILLAS	ICEIN S.A.S	3,57
164*	KM 17 + 200 DE LA CARRETERA CENTRAL DEL NORTE (KR 7 DE BOGOTÁ)	COMPAÑÍA DE TRABAJOS URBANOS S.A.S.	16,46
385*	PREDIO DENOMINADO RECEBERA EL TESORO, EN LA VEREDA PANAMÁ,	ASFALTOS GR SAS	19,86
485*	PREDIO DENOMINADO LA ESMERALDA, CARRERA 17 No. 81 A - 66, SUR, EN LA VEREDA MOCHUELO BAJO DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR	PAVIOBRAS S.A.S.	21,55

* Proveedor que pierde vigencia en los próximos 4 meses

Fuente: UT MOVIUS 2022



3.2.5.10.3. Localización de posibles fuentes proveedoras de concreto..

Entre los proveedores sugeridos por el IDU, se identificaron las siguientes empresas que podrían suplir las necesidades del proyecto de acuerdo a los criterios de disponibilidad y distancia de las plantas. En la Tabla 49 se presenta la información relacionada con la empresa y ubicación.

Tabla 49. Lista de proveedores de concreto hidráulico

Registro IDU No.	Ubicación	Empresa	Distancia (km)
27	TRANSVERSAL 5 No. 12 – 38, BARRIO CAZUCA	CONCRETOS ARGOS S.A.S	18,67
31	AUTOPISTA NORTE CALLE 240	CEMEX COLOMBIA SA	14,23
216*	PLANTA NEREIDAS - CARRERA 1 (AV. CARACAS) No. 55 A SUR - 21, LOCALIDAD DE USME	CONCRETERA TREMIX S.A.S.	21,62
362	CARRERA 62 No. 19 – 04, LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA	CONCRETOS ARGOS S.A.S	7,23
420	PLANTA DE CONCRETO UBICADA EN LA VEREDA PUENTE PIEDRA	ICEIN INGENIEROS CONSTRUCTORES S.A.S	19,94
449	CARRERA 65 B NO. 18 B -02, LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA	CEMEX COLOMBIA SA	7,34
503*	PLANTA SIBERIA, UBICADA EN LA AUTOPISTA MEDELLÍN, EN EL KM 0,5 DE LA VÍA BOGOTÁ -SIBERIA	CEMEX COLOMBIA SA	4,58
618*	CARRERA 123 No. 13 - 21, EN LA LOCALIDAD DE FONTIBÓN	MEGACONCRETOS SAS	6,37

* Proveedor que pierde vigencia en los próximos 4 meses

Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.5.10.4. Localización de posibles fuentes de proveedores agregados a partir de residuos de construcción y demolición.

Entre los proveedores sugeridos por el IDU para los materiales a partir de residuos de construcción y demolición, se identificaron las siguientes empresas que podrían suplir las necesidades del proyecto de acuerdo con los criterios de disponibilidad y distancia. En la Tabla 50 se presenta la información relacionada con la empresa y ubicación.

Tabla 50. Lista de proveedores de RCD

Registro IDU No.	Ubicación	Empresa	Distancia (km)
430	PREDIO UBICADO AUTOPISTA MEDELLÍN KM 1.2 VÍA SIBERIA - BOGOTÁ (ENTRADA PARQUE INDUSTRIAL LA FLORIDA, 600 METROS AL SUR DE LA AUTOPISTA).	CICLOMAT SAS	10,29
461*	KM 1,5 DE LA VÍA BOGOTÁ - MEDELLÍN, PUENTE DE GUADUA COSTADO OCCIDENTAL VEREDA VUELTA GRANDE	GRANULADOS RECICLADOS DE COLOMBIA GRECO SAS	49,79
473	AUTOPISTA MEDELLÍN KILÓMETRO 1,5 VÍA SIBERIA - BOGOTÁ, ENTRADA FRENTE AL PRIMER RETORNO	CODEOBRAS SAS	50,14
505	KILÓMETRO 3.8 DE LA VÍA LA MESA, ZONA INDUSTRIAL, VEREDA BALSILLAS	DROMOS PAVIMENTOS S.A.S.	19,91
510*	PREDIO DENOMINADO LOTE 10, EN LA VEREDA SAN JOSÉ	RECICLADOS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S	54,10
515	KILÓMETRO 3.5 ZONA INDUSTRIAL, EN LA VEREDA BALSILLAS	INCOMINERIA S.A.S.	20,01
517	CARRERA 71 D No. 57 - 10 SUR, LOTE 4, LOCALIDAD USME	SECAM JR EU	24,66

* Proveedor que pierde vigencia en los próximos 4 meses

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.5.10.5. Localización de posibles plantas de procesos

Se prevé que el concreto de las diferentes obras del proyecto sea suministrado y distribuido con camiones de empresas concreteras que operan en la ciudad de Bogotá.

3.2.6. Infraestructura y servicios interceptados

Para permitir la construcción de la L2MB se requiere el traslado de redes secas y húmedas en los sitios interferidos por las obras. Estos traslados se realizarán mayoritariamente en los sitios de estación y en menor escala en los pozos de ingreso y egreso de la tuneladora, pozos de ventilación, accesos y galerías, viaducto y patio-taller.

Para el componente de redes húmedas se trasladarán todas aquellas redes de acueducto y alcantarillado que interfieran con las obras. Para el componente de redes secas se trasladarán las redes de energía, telecomunicaciones, informática y gas natural interferidas en cruces de calzada, intersecciones y espacio público.

Para este efecto, se han implementado soluciones viables para el diseño, proponiendo ya sean protecciones o reubicaciones de las redes que se necesiten, basados en la Ley de Infraestructura No. 1682 de 2013. A continuación se presentan los criterios de soluciones implantadas para los casos de redes eléctricas, redes de gas y redes de acueducto y alcantarillado, incluyendo algunos ejemplos puntuales.

3.2.6.1. Redes eléctricas

Para el inventario de las redes eléctricas existentes de alta, media y baja tensión se partió de información secundaria proveniente de estudios previos y de otros proyectos realizados en el área de influencia, y de la información técnica de redes existentes suministrada por el operador de red ENEL Colombia.

Una vez obtenida la información secundaria antes mencionada, se procedió a validarla y complementarla con una visita a campo y con recorridos posteriores a los sitios del proyecto. Así mismo, se realizaron análisis virtuales realizados con la herramienta Street View del programa Google Earth.

A continuación se presentan fotografías típicas de redes eléctricas presentes en la zona de influencia del proyecto.

En la Fotografía 8 se observa una interferencia típica de redes subterráneas en media y baja tensión, así como de alumbrado público. La fotografía de la izquierda, tomada en la esquina nororiental de la carrera 11 con calle 72, muestra la interferencia subterránea de redes de baja y media tensión, y la de la derecha, tomada en la esquina suroccidental de la carrera 81A con calle 72, una interferencia de red de alumbrado público.



Fotografía 8. Cajas de inspección de redes subterráneas de energía MT 11,4 kV - BT 208/120 V - Canalizaciones

Fuente: UT MOVIOUS 2022

En la Fotografía 9 se observa una interferencia típica de los equipos especiales que conforman la red. En la de la izquierda, tomada en el costado suroriental de la carrera 72A con calle 72, se aprecia la interferencia con un transformador en poste tipo H. En la del centro, tomada en la esquina suroccidental de la carrera 81A con calle 72, una interferencia con seccionador tipo cuchilla. Y en la de la derecha, tomada en el costado sur

de la calle 72 entre carrera 80 y carrera 81A, una interferencia con un reconector. Todos estos elementos están en media tensión.



Fotografía 9. Redes aéreas de media tensión 11,4 kV (Transformador - Equipo de maniobra - Reconector)
Fuente: UT MOVIOUS 2022

En la Fotografía 10 de la izquierda, tomada en el costado norte de la calle 72 entre carrera 80 y carrera 81A, se observa una interferencia típica con redes aéreas de baja tensión, conformada por red abierta de baja tensión, alumbrado público y acometidas a predio. Por su parte, en la fotografía de la derecha, tomada en el costado suroriental de la carrera 86 con calle 80, se observa una red subterránea que alimenta un poste de alumbrado público.



Fotografía 10. Redes aéreas de baja tensión 208/120V (Distribución - Alumbrado público)
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Fotografía 11, tomada en el separador central de la carrera 68 con la calle 72, se observa la estructura doble circuito con cambio de ángulo de alta tensión, con postes metálicos normalizados por ENEL Colombia.



Fotografía 11. Red aérea de alta tensión - 115 kV - Av. 68
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Fotografía 12, tomada en el separador central de la avenida carrera 70 con la calle 72, se observa la presencia de una línea de alta tensión con estructura tipo torre en celosía doble circuito, normalizada por ENEL Colombia.



Fotografía 12. Red aérea de alta tensión - 115 kV - Av. Rojas
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Fotografía 13, tomada en la carrera 103 con Av. Ciudad de Cali, se observa la presencia de la estructura de circuito sencillo de alta tensión con postes metálicos normalizados por ENEL Colombia.



Fotografía 13. Red aérea de alta tensión - 115 kV - Cra 103
Fuente: UT MOVIUS 2022

No obstante su presencia en la zona de influencia del proyecto, no se identifican interferencias con líneas de alta tensión.

A manera de ejemplo, en las figuras siguientes se ilustran las interferencias de redes eléctricas de la Estación E3 Av. 68 del proyecto con los accesos y sobre las galerías de acceso previstos para la misma.

La primera interferencia se presenta sobre un acceso a la estación ubicado en la acera norte de la calle 72 con carrera 68C, el cual se cruza con una red eléctrica subterránea de media tensión con nivel de tensión 11,4 kV con conductor 185 mm² Al XLPE 15 kV en canalización 6 de 6" + 2 de 3" PVC, CTO Obrero.

La segunda interferencia se presenta sobre la zona donde se localiza la Estación E3 con una red eléctrica subterránea de baja tensión de 208/120 V.

Las demás interferencias se presentan transversalmente sobre las galerías de acceso a la Estación E3, una de ellas en la galería localizada en el costado sur de la calle 72 con carrera 68 C-11, con una red eléctrica aérea de media tensión con un nivel de tensión de 11,4 kV con un conductor de 2/0 ACSR desnudo CTO Obrero.

Sobre la carrera 68C también se requiere el retiro del CD 37294 de 112 kVA ubicado sobre una galería de acceso a la estación. Como solución, y para darle continuidad al servicio, se requiere realizar una subterranización del circuito media tensión denominado Obrero, el cual rodea tanto a los accesos como a la geometría de la Estación E3, en canalización 6 de 6" + 2 de 3" y un conductor de 240 mm² Al XLPE 15 kV para MT y 4/0 AWG THWN - 600 V para baja tensión, como se observa en la Figura 142.

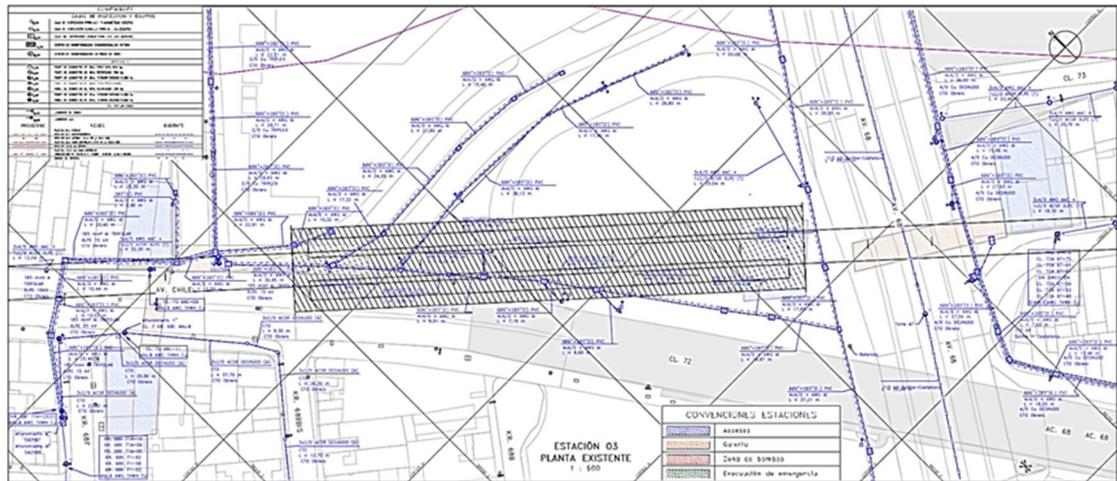


Figura 141. Interferencias en redes eléctricas en la Estación E3
Fuente: UT MOVIOUS 2022

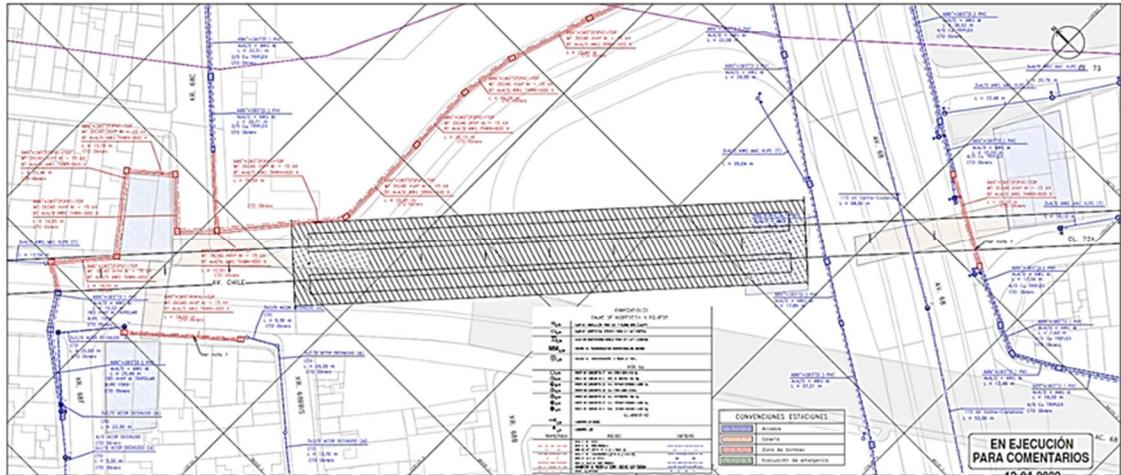


Figura 142. Propuesta de solución para las interferencias en redes eléctricas de la Estación E3
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.6.2. Redes de gas

Inicialmente se recopiló la información disponible del estudio de prefactibilidad de la L2MB e información secundaria proveniente de estudios anteriores. Así mismo, se obtuvo información secundaria suministrada por el operador de las redes de gas VANTI.

Con base en documentos elaborados a partir de la información suministrada por VANTI, se validó su utilidad y aplicabilidad, principalmente con visitas de campo realizadas con personal perteneciente a la mencionada entidad.

Se identificaron dos tipos de interferencias con las redes de gas:

- Interferencias transversales: Corresponden a aquellas redes que se cruzan de forma perpendicular a las estaciones y al alineamiento del metro.
- Interferencias paralelas: Corresponden a aquellas redes que discurren de forma paralela a las estaciones y al alineamiento del metro.

Una vez identificado el tipo de interferencia, se proyectaron las soluciones más convenientes para cada tipo de interferencia. Las soluciones planteadas fueron las siguientes:

- Protección de la red: La protección se implementó cuando la red cruza perpendicularmente el corredor y no es posible el traslado de la misma..
- Traslado definitivo de la red: Esta solución se implementó cuando es posible mover la red desde su ubicación actual.

La intervención necesaria dentro de los límites de intervención del proyecto para solucionar las interferencias detectadas consistirá principalmente en el retiro de las redes domiciliarias y anillos que las alimentan, para aquellos predios privados incluidos dentro de cada polígono de intervención. En el punto de conexión de dichos anillos será necesario instalar un tapón.

Así mismo, en los pocos casos en que hay redes de mayor diámetro alimentadoras de anillos de manzana que están instaladas en las vías o espacios públicos que se cruzan con las estaciones y que serán canceladas, se reubicarán por la ruta más corta que rodee el polígono de intervención.

3.2.6.3. Redes de acueducto y alcantarillado

3.2.6.3.1. Redes de acueducto

Para la investigación en campo de las redes y elementos de acueducto existentes localizados en la zona de influencia del proyecto se tomó como referencia la base de datos del Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial SIGUE de la EAAB-ESP, la cual contiene la información topológica y geométrica de las redes, así como los atributos para cada tramo, incluyendo longitudes, cotas, tipo de material y datos de construcción, entre otros.

Una vez identificados los diferentes elementos, se llevó a cabo una revisión de los proyectos ejecutados que comparten espacios con el proyecto L2MB y para los cuales se habían realizado investigaciones de campo. Como resultado de lo anterior, se generaron esquemas básicos para proceder a realizar la inspección visual de los elementos de acueducto en el corredor de la L2MB que requerían validación, y de esta manera verificar la conectividad y topología de las redes.

De la EAAB-ESP se recibió información correspondiente a los datos técnicos de la obra y archivos *shapefile* del sistema SIGUE, correspondiente a la zona de intervención de la red matriz y redes menores.

En resumen, para la revisión de interferencias de redes de acueducto que se ven afectadas con la proyección de las estructuras del proyecto L2MB se trabajó con la siguiente información de insumos:

- Estudios y diseños de Prefactibilidad L2MB
- Información geográfica base IDECA
- Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE)
- Sistema de Información de Normalización Técnica (SISTEC)
- Trazado del corredor L2MB
- Trazados Pilas Primera Línea Metro de Bogotá
- Levantamientos topográficos

3.2.6.3.1.1. Redes matrices

Los criterios de diseño de las redes matrices fueron los siguientes:

- Los desvíos propuestos deben tener como máximo las mismas pérdidas del tramo actual que se reemplaza, para conservar el actual funcionamiento hidráulico del sistema.

- Para definir los valores actuales y proyectados de pérdidas de energía se supone que en la red existente la velocidad de flujo es de 2,50 m/s, considerando que esta velocidad es la máxima permitida en la norma NS-033 (EAAB-ESP, 2005).
- La velocidad de operación de las líneas matrices debe estar dentro del rango de 0,50 m/s a 2,50 m/s, de acuerdo con lo indicado en la norma NS-033 (EAAB-ESP, 2005).
- Los desvíos se proyectan con tuberías del mismo material del tramo existente, siempre y cuando sean aceptados por la EAAB-ESP, en el numeral 4.1.1 de la norma NP-032 (EAAB-ESP, 2019). En caso de no cumplir con este criterio, se selecciona un material aceptado en la norma.
- Los puntos de derivación y alimentación que se modifiquen por desvíos de la red matriz deben ser equivalentes y preservar los esquemas físicos de sectorización establecidos por la EAAB-ESP para la operación del servicio. Las características y localización de los accesorios planteados en el diseño cumplen con lo estipulado en las Normas Técnicas de la EAAB-ESP.
- Se recomienda la protección con cárcamo para los tramos de tuberías existentes por conservar o modificar, con profundidad a lomo menor a 1 m, de acuerdo con las normas NS-035 (EAAB-ESP, 2004) y NS-033 (EAAB-ESP, 2005) de la EAAB-ESP.
- Las distancias mínimas entre los desvíos de redes matrices proyectadas y los colectores de aguas residuales son de 1 m en dirección horizontal y 0,3 m en la vertical, de acuerdo con lo indicado en la norma NS-033 (EAAB-ESP, 2005). En los casos que no es posible cumplir con este criterio, se proyecta una protección con neopreno para evitar la transferencia de aguas residuales y/o pluviales a la red matriz.
- Los diseños detallados de las redes matrices a cargo del constructor deberán cumplir con la normatividad vigente a la firma de su contrato. Se proyectarán ventosas en los puntos altos y purgas en los puntos bajos. En el caso de las ventosas, se debe realizar la verificación de necesidad de las mismas. Sin embargo, se instalarán en todos los puntos altos, puesto que la pendiente de la red es relativamente baja ($S_o < 1,0\%$) y se puede asumir como constante. Lo anterior, considerando la recomendación del RAS-2017 de plantear una ventosa cada 300 m cuando las redes tengan una pendiente constante.
- La separación mínima de la cara externa de la tubería a cualquier cimentación debe ser de 2 m, con el fin que los esfuerzos producidos por las cargas de las estructuras no sean transmitidos a las tuberías.

Los criterios para el traslado de las redes matrices fueron los siguientes:

❖ Túnel

En este tipo de sección, para el caso de la red matriz se verifica la profundidad de la red respecto al túnel cuando se presenta un cruce perpendicular. En caso que no se presenten interferencias entre las estructuras, se mantiene la configuración existente. Por otra parte, cuando se presenten cruces paralelos, la red matriz debe ser objeto de traslado previa verificación del alineamiento respecto al túnel. Las redes locales y acometidas, por el contrario, mantienen la localización existente.

❖ Túnel entre pantallas (trinchera)

En este tipo de sección, cuando se presenta un cruce perpendicular, las redes matrices son trasladadas. Por su parte, cuando se presentan cruces paralelos, en todos los casos las redes deben ser objeto de traslado, previa verificación del alineamiento respecto al túnel.

❖ **Viaducto**

En este tipo de sección, cuando se presentan cruces perpendiculares y paralelos, las redes matrices se mantienen, previa verificación de que no haya afectaciones con las pilas o esfuerzos inducidos por las cimentaciones del viaducto. En caso de que se identifiquen redes afectadas, estas deben ser objeto de traslado.

❖ **Estaciones y accesos a estaciones**

Cuando se presentan cruces perpendiculares y paralelos en los accesos de las estaciones subterráneas y/o elevadas, las redes matrices son objeto de traslado.

Por otra parte, cuando se presentan cruces perpendiculares y paralelos en estaciones, las redes matrices son objeto de traslado. Sin embargo, cuando se trata de redes locales y acometidas, las redes se mantienen, siempre y cuando no se presenten interferencias entre la red y la estructura de metro proyectada.

Las redes matrices objeto de traslado, identificadas con base en lo descrito anteriormente, serán reubicadas según los criterios indicados a continuación y de acuerdo con lo establecido en las normas del SISTEC de la EAAB-ESP:

- La localización de las redes se lleva a cabo siguiendo el alineamiento de las calles y no son proyectadas bajo andenes, salvo excepciones por las condiciones particulares del proyecto.
- Las redes de acueducto son localizadas en zanjas diferentes a las de redes de alcantarillado.
- Las distancias mínimas entre los desvíos de redes matrices proyectadas y los colectores de aguas residuales, son de 1,0 m en dirección horizontal y 0,3 m en dirección vertical, salvo algunas excepciones por las condiciones particulares del proyecto.
- Para los tramos de tuberías en las cuales la cota clave de la tubería se encuentra a menos de 1 m de la rasante, se recomienda la protección de las mismas con cárcamo, de acuerdo con la norma NS-035.
- La separación mínima de la cara externa de la tubería a cualquier cimentación debe ser suficiente para evitar transmisión de esfuerzos por cargas a las tuberías de red matriz.
- Las distancias mínimas para establecer los corredores libres, necesarios para actividades de operación y mantenimiento se establecen según el diámetro de la tubería de la red matriz (NS-033).

3.2.6.3.1.2. Redes menores

Los criterios de diseño de las redes menores fueron los siguientes:

- Para las redes menores de acueducto se identifican y relocalizan los tramos de tubería que se encuentren dentro del límite de intervención del proyecto y estén afectados por las condiciones de la L2MB. Esta actividad se desarrolla validando el trazado propuesto durante la etapa de factibilidad.

- Los desvíos se proyectan en los materiales y diámetros indicados en la normatividad de la EAAB-ESP, manteniendo en lo posible la homogeneidad en la topología de la red existente. El traslado de redes incluye el reemplazo de accesorios tales como codos, tees, tapones, válvulas, hidrantes y reducciones, necesarios para garantizar la conectividad del sistema y el mantenimiento de las condiciones actuales de operación.
- Los tramos de tubería proyectados y sus accesorios se diseñan de acuerdo con las normas técnicas de la EAAB-ESP. Los ángulos de deflexión para los accesorios son de 11,25°, 22,5°, 45° y 90°. En caso de requerir conexiones a redes existentes con diámetros menores a los permitidos en la norma (menores a 4 pulgadas) se proyectan la reducción y empate correspondientes. No se hacen desviaciones de una red menor que se encuentre ubicada bajo pompeyanos, exceptuando casos puntuales donde se compruebe que se afecta negativamente el recubrimiento de la tubería. También se evita la proyección de accesorios bajo los pompeyanos. Los puntos de conexión entre las redes matrices y las redes menores de acueducto se identifican mediante notas en planos.
- En relación con los diseños específicos de las estaciones, se contempla la instalación de por lo menos un punto hidráulico por estación. Para otras áreas auxiliares de las estaciones, la distribución de puntos se realiza de tal forma que desde cualquier lugar sea posible el acceso a un punto hidráulico ubicado a no más de 50 m. Para el caso del patio-taller, se prevé la instalación de por lo menos tres puntos hidráulicos, de manera que se logre abastecer las áreas al interior del patio-taller que requieran suministro. De manera general, y en la medida de lo posible, debe garantizarse que la conducción de agua potable requerida por las estaciones y demás infraestructura asociada al proyecto se realice mediante tuberías y redes existentes que suministren la presión y caudal necesario, sin requerir sistemas de bombeo.

Otros aspectos considerados fueron los siguientes:

❖ **Túnel**

En este tipo de sección, cuando se presentan cruces perpendiculares o paralelos, las redes menores o acometidas mantienen la configuración existente siempre y cuando en profundidad no presentan interferencias con la estructura del metro.

❖ **Túnel entre pantallas (trinchera)**

En este tipo de sección, cuando se presentan cruces perpendiculares o paralelos, las redes menores o acometidas son objeto de traslado, previa verificación del alineamiento de la red respecto al túnel.

❖ **Viaducto**

En este tipo de sección, cuando se presentan cruces perpendiculares y paralelos, las redes menores o acometidas se mantienen, previa verificación de que no se presentan afectaciones con las pilas o esfuerzos inducidos por las cimentaciones del viaducto. En caso de que se identifiquen redes afectadas, estas son objeto de traslado.

❖ **Estaciones y accesos a estaciones**

Cuando se presentan cruces perpendiculares y paralelos en los accesos, las redes troncales, locales o domiciliarias son objeto de traslado. Por otra parte, cuando se presentan cruces perpendiculares y paralelos en estaciones, las redes menores y acometidas se mantienen.

Los criterios para el traslado, renovación y/o protección de las redes menores existentes afectadas por la infraestructura proyectada fueron los siguientes:

- Las tuberías de acueducto menores o iguales a 12" (300 mm) deben estar separadas de los paramentos a una distancia horizontal mínima de 0,5 m. Para diámetros mayores las tuberías deben, en lo posible, ir por calzada y tener un corredor libre para mantenimiento de mínimo de 1 m a lado y lado del borde exterior de la tubería. En el cálculo deben incluirse las cargas vivas que puedan afectar las redes de acueducto. Esta distancia se podrá reducir en casos excepcionales como laderas o callejones, cuando se demuestre que no se puede cumplir este requisito.
- Las redes menores de acueducto se proyectan en andén y/o zonas de espacio público.
- Las tuberías de acueducto no pueden estar ubicadas en la misma zanja de una tubería de alcantarillado de aguas residuales, lluvias o combinadas, y su cota externa inferior debe estar siempre por encima de la cota clave del alcantarillado. Las distancias mínimas entre las tuberías que conforman la red de distribución de agua potable y las tuberías de otras redes de servicios públicos son 1 m en la dirección horizontal y 0,3 m en la dirección vertical, medidas entre las superficies externas de los dos conductos.
- En caso de que por falta física de espacio o por un obstáculo insalvable no fuese posible cumplir con la ubicación o las distancias mínimas anteriormente mencionadas, la tubería debe ser aislada con una protección a todo lo largo de la zona de interferencia.
- Para cruces con infraestructura como vías férreas, líneas de media y alta tensión, entre otras, la localización de las redes debe cumplir las exigencias previstas por las entidades correspondientes.
- La profundidad de la red no debe superar 1,5 m, excepto cuando se presenten casos específicos como cruces transversales. Estos cruces deben llevar un tipo de protección de acuerdo con las recomendaciones geotécnicas y la profundidad de la tubería.
- En zonas verdes y peatonales la profundidad mínima es de 0,6 m. En zonas de tránsito vehicular, de 1,0 m.

A manera de ejemplo, en la Figura 143 se ilustran las interferencias de redes de acueducto de la Estación E5 Av. Ciudad de Cali del proyecto.

La Estación E5 se encuentra proyectada sobre el costado nororiental de la Avenida Chile entre las carreras 80 y 80A sobre dos manzanas; haciendo interferencia con una red de 4" en PVC. En consecuencia, la solución adoptada es la suspensión de la red mediante dos tapones en HD.

Sobre la galería de acceso 1 y 2, se encuentra el paso transversal de la red matriz de 16" en CCP denominada CALLE 73 KRA 53, en la que la solución adoptada es la protección de la red durante la construcción de la galería.



Figura 143. Interferencias de Acueducto en Estación 5
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.6.3.2. Redes de alcantarillado

Las redes de alcantarillado que requieren traslado como consecuencia del proyecto L2MB fueron proyectadas a partir de los siguientes insumos:

- Estudios y diseños de Prefactibilidad L2MB
- Información geográfica base IDECA
- Información remitida por la EAAB-ESP sobre contornos ambientales de cuerpos de agua
- Sistema de Información Geográfico Unificado Empresarial (SIGUE)
- Sistema de Información de Normalización Técnica (SISTEC)
- Trazado del corredor L2MB
- Trazados Pilas Primera Línea Metro de Bogotá
- Levantamientos topográficos
- Planos record remitidos por la EAAB-ESP
- Investigaciones de campo de las redes y elementos de alcantarillado existentes en el área de influencia del proyecto, que incluyeron el levantamiento de 1103 elementos de alcantarillado a manera de información primaria.

Los criterios para el traslado de redes de alcantarillado fueron los siguientes:

❖ Túnel

En este tipo de sección, cuando se presentó un cruce perpendicular entre la sección túnel y las redes troncales, locales o domiciliarias se mantuvo la configuración existente; para el caso de la red troncal, se verificó la profundidad de la red respecto al túnel.

Por otra parte, cuando se presentaron cruces paralelos, se verificó el alineamiento y profundidad de las redes troncales con el fin de definir la necesidad de traslado; para el caso de las redes locales y domiciliarias se mantuvo la configuración actual.

❖ Túnel entre pantallas (trinchera)

Cuando se presentó un cruce perpendicular en este tipo de sección, las redes troncales, locales o domiciliarias se trasladaron. Por otra parte, cuando se presentaron cruces paralelos, se verificó el alineamiento de las redes de alcantarillado respecto al túnel entre pantallas, definiendo así la necesidad de traslado.

❖ Viaducto

Cuando se presentaron cruces perpendiculares y paralelos, las redes troncales, locales o domiciliarias mantuvieron la configuración existente previa verificación de que no se presentaran afectaciones en las redes por pilas o esfuerzos. En los casos de que se identificaron redes afectadas se proyectó el traslado de las líneas de alcantarillado.

❖ Estaciones y accesos a estaciones

Cuando se presentaron cruces perpendiculares y paralelos de redes de alcantarillado (troncales, locales y domiciliarias) con elementos del sistema L2MB tales como estaciones, pozos de ventilación y accesos, se realizó el traslado de las líneas.

Por otra parte, en el caso de cruces con galerías, se trasladaron todas aquellas redes troncales, locales o domiciliarias que tenían el mismo alineamiento que estas estructuras. Cuando se presentaron cruces perpendiculares, se mantuvo la configuración existente.

Las redes por trasladar, identificadas según los criterios descritos anteriormente, fueron reubicadas tomando en consideración los criterios indicados a continuación y siguiendo las normas del SISTEC de la EAAB-ESP:

- La localización de las redes trasladadas siguió el alineamiento de las calles. De esa forma, los colectores pluviales se ubicaron hacia el eje de la vía mientras que las redes del alcantarillado residual o combinado se localizaron hacia los costados de las mismas. Hubo casos particulares donde se tuvieron variaciones por condiciones particulares del proyecto.
- Las redes de alcantarillado se proyectaron para ser construidas en zanjas diferentes a las de las redes de acueducto. La cota clave de la red de alcantarillado se proyectó para estar por debajo de la cota lomo inferior de la tubería de la red de acueducto. En algunos casos particulares, por la condición de empalme con redes existentes y por condiciones particulares del proyecto, no fue posible cumplir con este requerimiento.
- La red residual no fue ubicada en el mismo costado de la red de acueducto salvo algunas excepciones.
- La distancia mínima libre de las redes trasladadas a otras redes de servicios públicos es de 1,0 m en horizontal y 0,30 m en vertical, salvo algunas excepciones dadas por la presencia de redes existentes y condiciones particulares del proyecto.

- Se mantuvo el mismo material del tramo existente a excepción de tuberías existentes en gres.
- El traslado de las redes se realizó manteniendo las condiciones hidráulicas de la línea existente (mismo diámetro y mismas cotas de empalme de la línea construida). En ningún caso se desmejoraron las condiciones hidráulicas o de estabilidad de las tuberías trasladadas.
- Dentro de la proyección de estructuras y tuberías se garantizó la conectividad de todos los elementos (existentes y proyectados) del sistema manteniendo en todo momento los sentidos de flujo que se presentan actualmente (topología de la red).

La metodología de dimensionamiento de redes de alcantarillado consideró las siguientes etapas:

- Evaluación hidráulica de cada uno de los tramos que presentan interferencia con elementos de la L2MB mediante la determinación de la capacidad hidráulica instalada y la revisión del funcionamiento de la red. La evaluación hidráulica se realizó a partir de las características físicas y técnicas de tramos (diámetros, materiales y cotas clave, entre otros), obtenidas de la información primaria y secundaria disponible.
- Proyección y chequeo de los tramos proyectados mediante la comparación de la capacidad hidráulica de la red proyectada con la capacidad hidráulica de la red existente original (Ley de Infraestructura).
- Verificación del funcionamiento de la red respecto a criterios de funcionamiento tales como velocidades y esfuerzos tractivos, según lo indicado en la norma NS-085 V4.1

Los criterios de diseño de las conexiones domiciliarias de alcantarillado consideraron los siguientes aspectos:

- Adquisición predial y distribución de las redes una vez realizados los traslados y los alineamientos proyectados, con el fin de determinar la proyección, o no, de domiciliarias.
- Lineamientos establecidos por la EAAB-ESP en el documento *NS-068 - CONEXIONES DOMICILIARIAS DOMÉSTICAS Y NO DOMÉSTICAS*, donde se establece que cada usuario debe realizar la evacuación de sus aguas residuales de manera separada hacia colectores ubicados en la vía pública, por medio de una caja ubicada en el espacio público para el sistema de alcantarillado residual.
- La tubería de conexión entre las domiciliarias y el sistema de alcantarillado debe contar con un ángulo de incidencia comprendido entre 45° y 90° con respecto al sentido de flujo. La caja de conexión debe tener una dimensión interna mínima de 0,60 m x 0,60 m y una profundidad variable entre 0,60 m y 1,50 m medida desde la rasante hasta la cañuela más baja en la caja. En caso de que sea necesario proyectar una caja con una profundidad mayor, se deberá reemplazar por un pozo de inspección.
- Las cajas deben implantarse en áreas de fácil accesibilidad y sin restricciones para actividades de inspección o monitoreo.

A manera de ejemplo, en la Figura 144 y la Figura 145 se ilustran las interferencias de redes de alcantarillado de la Estación E5 Av. Ciudad de Cali.

En el costado norte de la estación 5, las redes residuales existentes se ubican sobre la calle 72A y la carrera 81A. En las condiciones actuales, la red en concreto que drena en sentido sur-norte sobre la calle 72 A tiene 0,20 metros de diámetro. Debido a la interferencia con el espacio público, su traslado es indispensable. Por la naturaleza de la intervención proyectada y por la afectación de predios que ésta genera, no es necesario incorporar una tubería para el desagüe de las aguas residuales. Se proyectan, en consecuencia, 73 metros

de tubería en concreto con 0,20 metros de diámetro para el traslado, y se empalma al sistema existente en el pozo proyectado CMP42665.

En el caso de la red residual con sentido de drenaje occidente-oriente sobre la carrera 81A, se tiene una situación similar a la antes descrita, La red existente, por la intervención proyectada, debe salir de funcionamiento. En consecuencia, se proyecta un tramo en concreto de 18 metros de longitud con un diámetro de 0,20 metros que empalma al sistema existente en el pozo CMP42721.

Para el caso de la red que tiene sentido de drenaje occidente-oriente sobre la carrera 80C, y debido a la interferencia que se genera con la estructura de la estación, es necesario sacar de funcionamiento 41 metros de red residual. Para este traslado no es necesario proyectar una red, puesto que la interferencia se soluciona intercalando un pozo en el límite de intervención. Con el mismo, los predios que no se ven afectados por las estructuras proyectadas tienen garantizado el drenaje. El pozo proyectado se codificó como PP-05-001.

La red existente sobre la calle 72A con sentido de drenaje sur-norte interfiere con el espacio público proyectado. Actualmente, esta red tiene un diámetro de 0,20 metros en PVC. El traslado se realiza en el mismo sentido de drenaje, proyectando 4 pozos con una longitud de traslado de 113 metros, con un diámetro de 0,20 metros, conservando el material de la red existente. El traslado se hace hasta la altura de la carrera 80, donde por medio del pozo TRP-05-003 empalma con el sistema de alcantarillado existente.

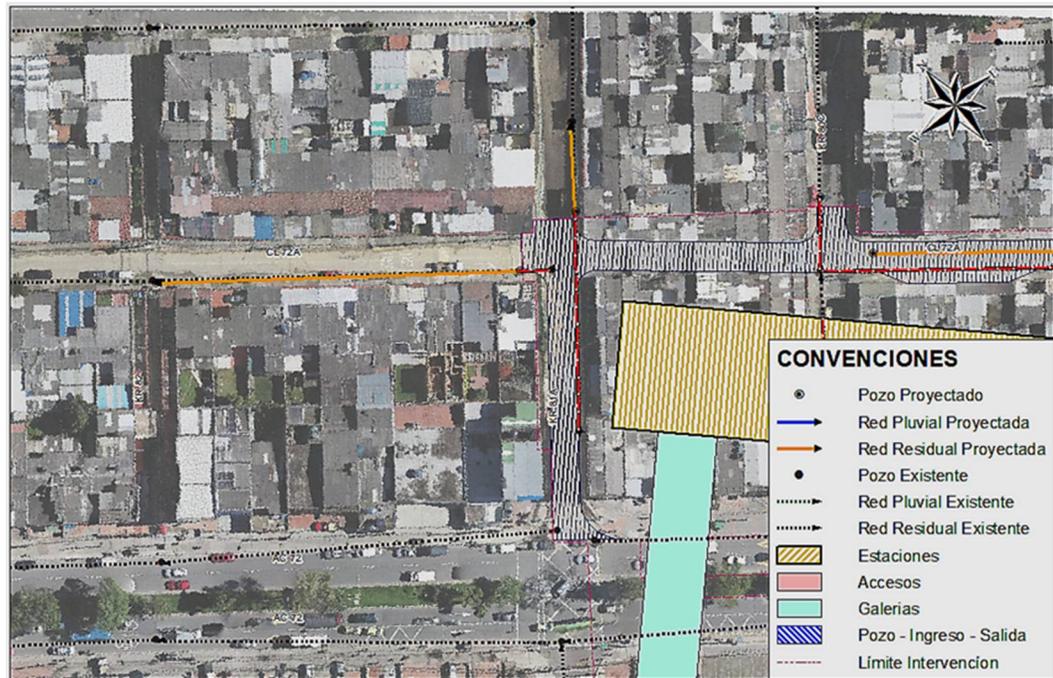


Figura 144. Traslado redes de alcantarillado Estación 5 Calle 72A y Carrera 81A - Red Residual.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

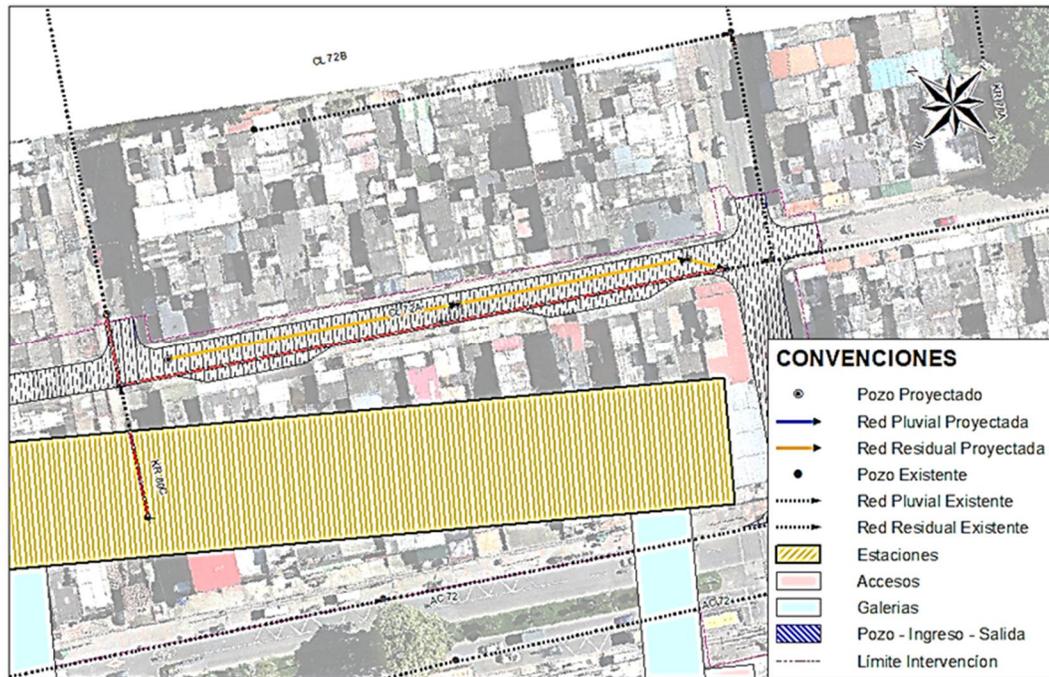


Figura 145. Traslado redes de alcantarillado Estación 5 Calle 72A y Carrera 80C - Red Residual
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.6.4. Redes de tecnología de la información y la comunicación

El análisis de las redes de tecnología de información y comunicación se concentró en el impacto de las interferencias de la infraestructura de propiedad de los operadores ETB, TIGO-UNE y MOVISTAR con las diversas obras proyectadas, debido a que estos operadores cuentan con redes e infraestructura de su propiedad en la zona de influencia del proyecto.

Otro de los operadores de red identificado fue CLARO TELECOMUNICACIONES. Sin embargo, se evidenció que éste no cuenta con infraestructura propia, sino que opera sus redes a través de acuerdos de arrendamiento con la empresa ENEL Colombia. Para este caso, los traslados de sus redes serán realizados de manera conjunta entre las dos empresas.

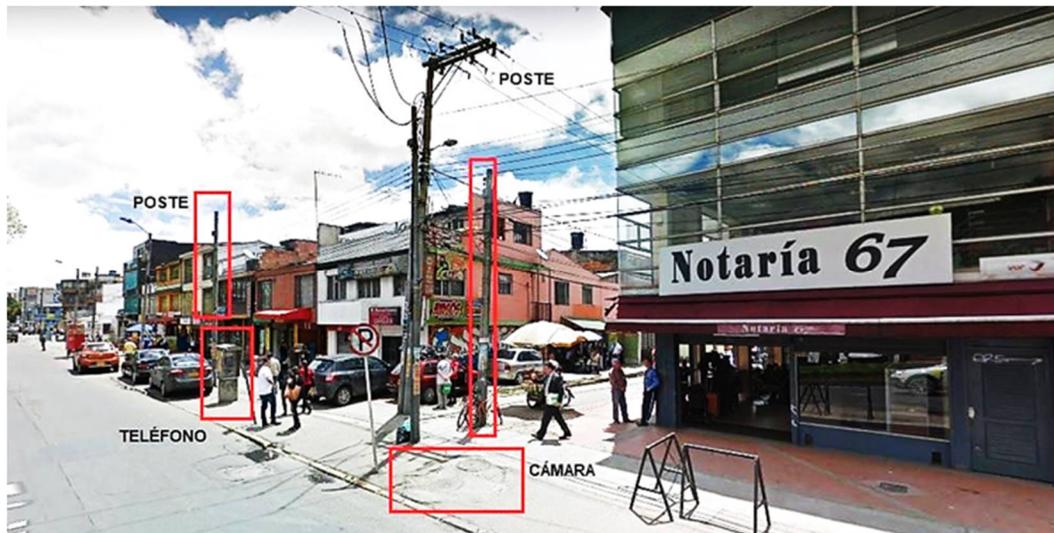
Las gestiones para la adquisición de la información realizadas ante los operadores fueron ejecutadas de acuerdo con lo establecido en el capítulo IV de la Ley 1682 de 2013, la Guía “Coordinación IDU, ESP y TIC en Proyectos de Infraestructura de Transporte” del 29 de diciembre de 2014. Conforme a lo anterior, se obtuvo la siguiente información por parte de cada operador de red de telecomunicaciones:

- Tipología y caracterización de la red o activo según el servicio al que corresponda
- Inventario de elementos que conforman la red o activo objeto de protección, traslado o reubicación y dimensionamiento, según aplique
- Permisos, autorizaciones o licencias concedidas al prestador y/u operador para la instalación de la red o activo
- Momento en el cual fueron instaladas las redes o activos objeto de protección, traslado o reubicación

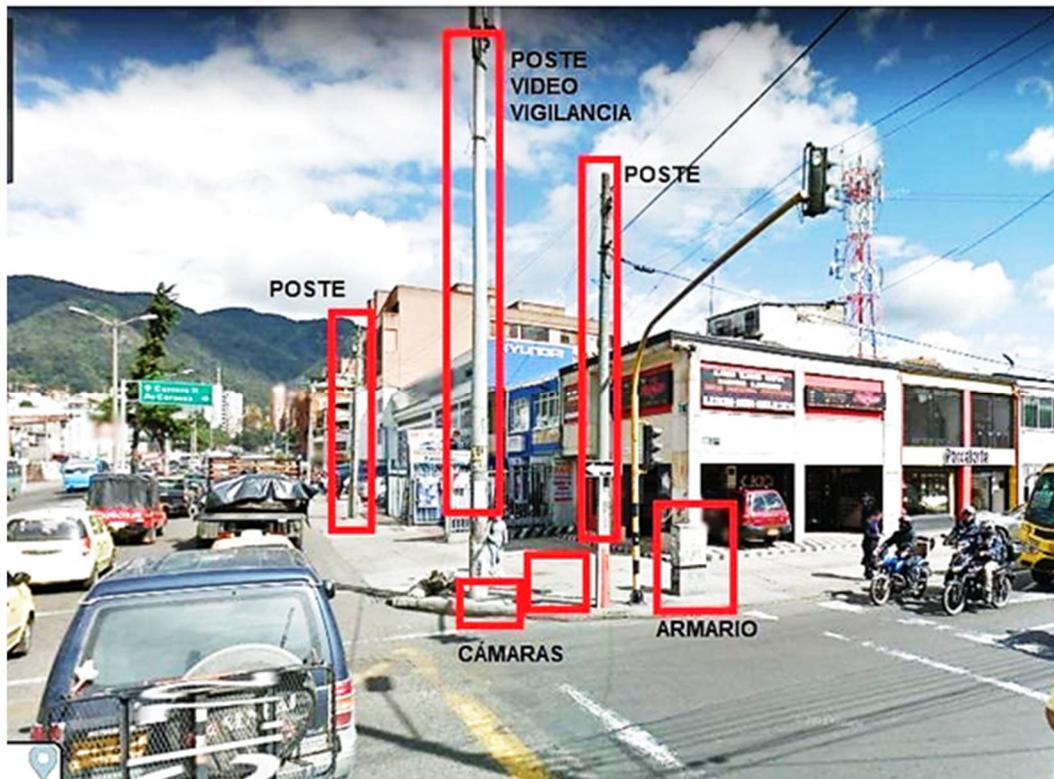
- Cuantificación de los costos asociados estimados para la protección, traslado o reubicación de la red o activo
- Acuerdos de confidencialidad que haya lugar a suscribir entre el solicitante, el prestador u operador del servicio, de conformidad con la información entregada en cada caso

Una vez obtenida la información secundaria antes mencionada, se procedió a validarla con una visita a campo y con recorridos puntuales posteriores a los sitios del proyecto. Así mismo, mediante análisis virtuales realizados con la herramienta Street View del programa Google Earth.

A continuación se presentan fotografías de las redes presentes en los lugares previstos para la implantación de algunas de las estaciones del proyecto:



Fotografía 14. Redes de ETB sobre la Calle 72.
Fuente: Google Earth



Fotografía 15. Redes de ETB sobre la Calle 72
Fuente: Google Earth



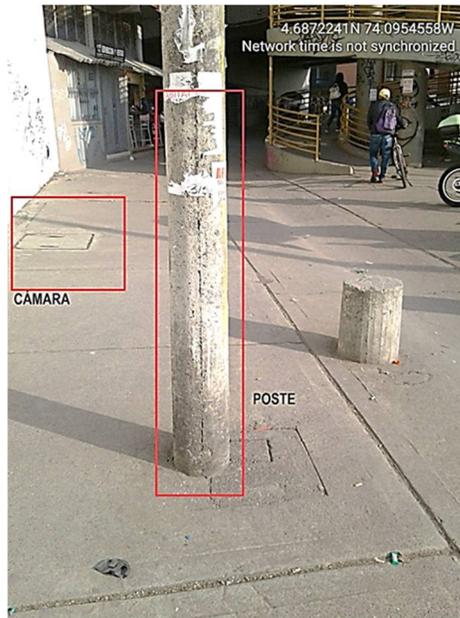
Fotografía 16. Redes de MOVISTAR sobre la Calle 72
Fuente: Google Earth



Fotografía 17. Redes de MOVISTAR en la estación Av. Boyacá.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Fotografía 18. Redes de Tigo-Une sobre la estación Av. C. Cali.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Fotografía 19. Redes de Tigo-Une sobre la estación Av. Boyacá.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Los elementos que requerirán reubicación son los siguientes:

- Cajas de inspección que interfieran con la construcción de estaciones proyectadas
- Cajas de inspección que por su infraestructura civil y su profundidad sea superior a la cota de la clave de la galería
- Cajas de inspección ubicadas en los accesos de las estaciones
- Elementos de red ubicados en las entradas a pozos de bombeo y salidas de emergencia
- Canalizaciones afectadas por modificaciones en el urbanismo y espacio público, y requieran el traslado de las canalizaciones a un nuevo andén
- Canalizaciones ubicadas en intersecciones a nivel que puedan verse afectadas por la construcción de estaciones proyectadas, las cuales se protegerán y/o se reubicarán
- Canalizaciones ubicadas en sitios de estaciones que por causa de su construcción requieran la reubicación
- Cajas de inspección afectadas por la elevación de las cotas de la rasante en andenes o por adecuación de espacios públicos, las cuales se realizarán
- Redes aéreas que interfieran con estaciones o con su construcción, y redes aéreas que se encuentren dentro del espacio público proyectado, las cuales se subterranizarán
- Canalizaciones afectadas por los pasos o galerías entre el acceso de la estación y la estación, las cuales se reubicarán
- Redes afectadas con otros proyectos o planes parciales que puedan encontrarse vigentes

3.2.6.5. Vías urbanas

Véanse numerales [1.2.1.1.1 Vías](#) y [1.2.1.2 Vías que serán utilizadas por el proyecto, clasificación y estado actual](#).

3.2.6.6. Demás infraestructura y redes interceptadas

Véanse numerales [1.2.1.1.2 Líneas férreas](#), [1.2.1.1.3 Otra Infraestructura existente - Deprimido de la PLMB en Av. Caracas con calle 72](#) y [1.2.7 Infraestructura y servicios interceptados](#).

3.2.7. Infraestructura necesaria para el patio-taller

3.2.7.1. Localización

El patio-taller está ubicado en el sector noroccidental de la ciudad de Bogotá sobre el predio denominado Fontanar del Río, el cual está delimitado al sur por la Diagonal 151 entre la transversal 141 A bis y la carrera 147, al este por la carrera 147 entre la diagonal 151 a calle 145 y limitado al norte y occidente por el jarillón del río Bogotá. El jarillón posee una cota máxima de 2546,5 y el terreno se emplaza aproximadamente en la cota 2542 msnm. Por otro lado, el desarrollo geométrico del trazado de la vía ferroviaria alcanza la cota 2545,3

El terreno cuenta con un área útil de aproximadamente 33 ha y en su interior se ubica un pondaje de la Empresa de Acueducto y Alcantarillados de Bogotá (EAAB).

El patio-taller se localiza detrás de la Estación Fontanar (E11), ubicación ideal que limita el movimiento de trenes en vacío.

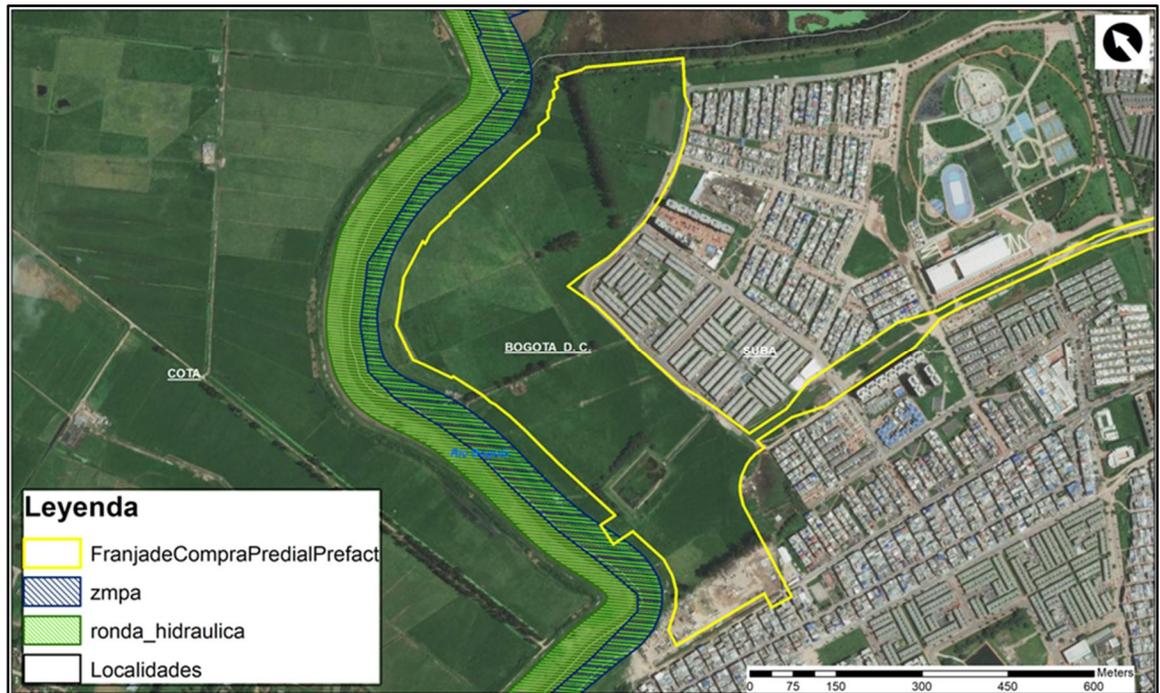




Figura 146. Ubicación del área destinada para el patio-taller en predio Fontanar del Rio
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.7.2. Descripción de las áreas del patio-taller

Teniendo en cuenta los aspectos hidrológicos y geotécnicos de la zona del patio-taller y la necesidad de emplear el área disponible en casi su totalidad para el complejo férreo, se estableció que los rellenos necesarios para la construcción del terraplén y las instalaciones del patio-taller deben tener una altura media aproximada de 3,50 m, con el fin de evitar inundaciones, éstos deberán extenderse en todo el perímetro del área disponible considerando las restricciones propias de los cuerpos hidráulicos cercanos.

Con respecto a las características del subsuelo y teniendo en cuenta la magnitud de los rellenos del terraplén proyectado y los estudios de referencia realizados para la estructuración patio-taller de la primera línea del metro (PLMB), se estableció la necesidad de implementar un sistema de mejoramiento del subsuelo, el cual debe mitigar principalmente el efecto de los asentamientos diferenciales en el cuerpo propio del terraplén para el funcionamiento adecuado de las vías férreas e instalaciones, y mitigar los efectos sobre edificaciones vecinas localizadas al costado oriental del área de desarrollo.

Adicionalmente, el sistema de mejora debe generar una densificación de los materiales superficiales y reducir la susceptibilidad de los mismos a efectos de pérdida de resistencia por esfuerzos de corte inducidos por eventos sísmicos.

Se requerirá el mejoramiento del suelo por medio de inclusiones rígidas (columnas de módulo controlado). Se conformarán columnas de 0,30 m y 0,50 m de diámetro con longitudes variables entre 20 m y 30 m separados 2,1m de centro a centro. La configuración de las columnas de módulo controlado es semejante a la definida para el patio-taller de la PLMB; y con una presión de contacto similar.

Los asentamientos totales generados se controlarán a través de columnas de módulo controlado. Dichos elementos proporcionan una mejora en la capacidad portante del suelo, así como una menor deformabilidad.

Con la evaluación de asentamientos diferenciales se recomendó la necesidad de implantar una pantalla de columnas alargadas en la frontera del terraplén, los cuales generarán una barrera de aislamiento frente a las deformaciones causadas por el terraplén.

La construcción de las columnas requiere un sistema constructivo pre excavado que ocasionalmente requiere protección (fluidos de estabilización) para evitar derrumbes de la excavación durante la ejecución de los mismos y excavaciones mecánicas, posterior fundición de los elementos, para finalmente restituir las excavaciones adyacentes. Las redes se instalarán con posterioridad a la construcción del terraplén, con el fin de disipar los asentamientos elásticos del mismo.

Debido a la evaluación de posibles afectaciones de las zonas aledañas, se contará con un sistema de monitoreo en zonas aledañas al terraplén con el fin de comparar las condiciones de diseño frente a las reales. Este seguimiento no estará restringido sólo durante el periodo de construcción de la obra sino también a lo largo del tiempo de funcionamiento de la misma. Se dispondrá de una red de puntos de control superficial así como de inclinómetros.



Figura 147. Planta de obras geotécnicas patio-taller
Fuente: UT MOVIUS 2022

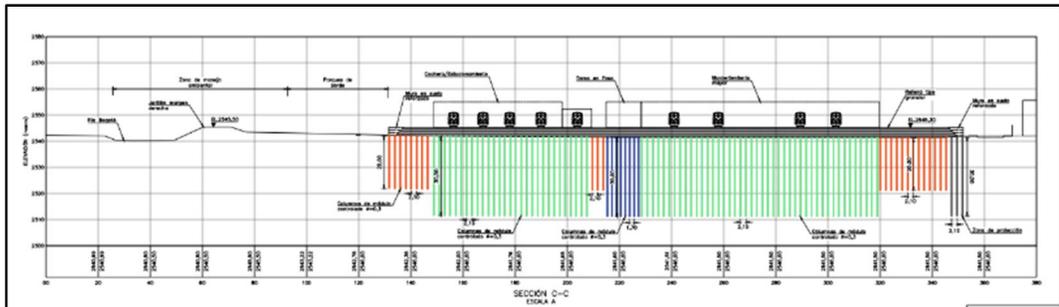


Figura 148. Sección transversal A-A costado jarillón
Fuente: UT MOVIUS 2022

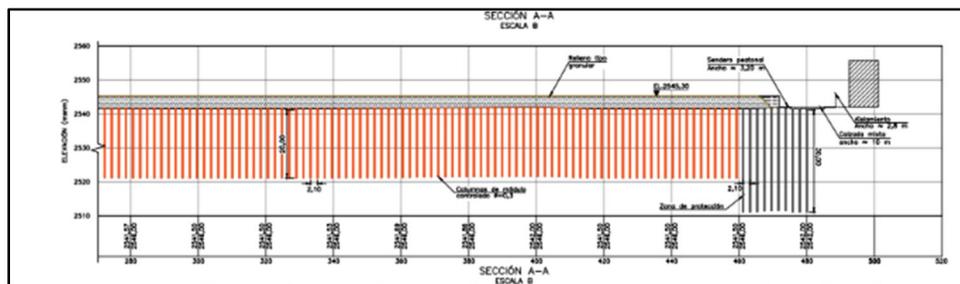


Figura 149. Sección transversal A-A al costado de conjuntos residenciales.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Durante la construcción de las obras del patio-taller, y con carácter temporal, se tiene previsto construir una barrera perimetral metálica que lo aislará totalmente del entorno y que se retirará una vez finalicen las obras. Así mismo, se instalarán reflectores de seguridad dirigidos hacia el interior del predio para no afectar a los habitantes del sector.

3.2.7.3. Criterios de dimensionado

El dimensionado del patio-taller se definió a partir de los siguientes elementos:

- Datos relacionados con el material rodante
- Datos operativos
- Datos relacionados con la infraestructura del proyecto
- Organización de las actividades de mantenimiento
- Organización y dotación de personal de los talleres

3.2.7.4. Organización

Los talleres estarán abiertos 24h / 24 y 7 días / 7, pero durante los fines de semana y festivos la actividad se reducirá a una parte de las funcionalidades. El número considerado de días de apertura en un año, para el proceso de dimensionamiento es de 262 días.

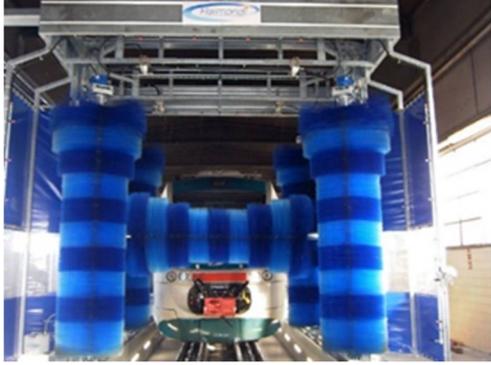
El número de turnos de trabajo considerados por actividad es el siguiente:

- Limpieza: 1 x 8h
- Mantenimiento Ligero y Almacén: 2 x 8h
- Mantenimiento Pesado: 1 x 8h
- Administración del taller: 1 x 8h
- Supervisión de la operación del taller: 2 x 8h
- Seguridad: 3 x 8h

3.2.7.5. Áreas de mantenimiento, almacenamiento y manejo de lubricantes y aceites

Tabla 51. Tabla de instalaciones de mantenimiento

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
Cochera / Estacionamiento de trenes	<p>18 posiciones de estacionamiento para trenes de 145 m de largo + 6 posiciones como provisión futura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 9 vías, 2 trenes por vía + provisión de 6 vías, 1 tren por vía - Área cubierta - 1 área técnica para albergar personal y almacenar equipos de limpieza para el interior de los trenes~ 300m² <p>3 vías de la cochera pueden utilizarse para</p>	<p>Estacionamiento Actividad Secundaria: Limpieza interior de trenes</p> 

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
	<p>limpieza interior reforzada de acuerdo al Plan de Operación Preliminar</p>	
Máquina de lavado	<p>1 vía de lavado de trenes equipada con máquina de lavado</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 área técnica al lado de la vía: ~220m² - Debe tener vía libre a cada lado de la planta de lavado equivalente a la longitud del tren (145m) 	<p>Limpieza Exterior de trenes</p> 
Limpieza reforzada	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de limpieza reforzada dentro y fuera de los trenes, para trenes de 145m de largo - Nota: Esta actividad puede realizarse en la zona de cochera. 	<p>Limpieza reforzada Interior y Exterior de trenes</p> 
Taller de Mantenimiento Preventivo	<ul style="list-style-type: none"> - 2 vías de inspección para trenes de 145 m de largo, para mantenimiento preventivo y correctivo: - 3 vías elevadas sobre postes (con plataformas de acceso al techo fijo) - Taller, almacén, otras áreas técnicas, oficinas ~ 640 m² 	<p>Mantenimiento preventivo – niveles 1 a 3</p>

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
		
Torno en foso	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía especializada con un torno de foso para el perfilado de las ruedas. - Debe tener vía libre a cada lado de la planta equivalente a la longitud del tren (145m) 	<p>Reperfilado de ruedas</p>  
Taller de Mantenimiento Correctivo y Mantenimiento Mayor	<ul style="list-style-type: none"> - 2 vías de mantenimiento para mantenimiento preventivo y correctivo incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía sobre losa - 1 vía con foso - 1 vía para una cabina de pintura - Talleres para la revisión de componentes del tren, almacén, salas de personal para empleados y trabajadores. ~ 10000 m2 	<p>Mantenimiento Mayor – niveles 4 a 5</p> 

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
		
Sistema Baja Bogies	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de mantenimiento correctivo con sistema de sustitución de vía de bogie 	
Área de descarga	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía externa sobre losa de 60 m de longitud. - Esta función puede ubicarse en la zona de almacén externo 	<p>Zona de descarga para trenes nuevos</p> 
Taller para vehículos de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Talleres y oficinas ~1750 m² - 1 vía de 70m, con foso para mantenimiento de vehículos de mantenimiento al interior del taller - 2 vías de estacionamiento bajo techo, para estacionamiento de vehículo de mantenimiento de infraestructura - Área externa para carga y descarga de camiones 	

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
Taller de mantenimiento de infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> - Talleres para Telecom, Energía, Vía, AFC, etc. ~1380 m2 - Oficinas - Almacén exterior ~1200 m2 	Mantenimiento de Infraestructura 
Almacén	<ul style="list-style-type: none"> - Almacén principal ~ 4000 m2 - Almacén para respuestos pequeños - Almacén para sustancias inflamables y pinturas 	
Vía de transferencia	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de transferencia, cambio de conducción auto/manual 	
Edificio administrativo y PMPT	<ul style="list-style-type: none"> - Edificio administrativo ~ 580 m2 - Puesto de Mando del Patio-Taller (PMPT) - Salas de entrenamiento - Oficinas, salas de reuniones, etc. 	

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Caminos, vigilancia, subestaciones, tanque de agua, planta de tratamiento, - estación de servicio diesel, etc. 	
Vía de Pruebas ³	<ul style="list-style-type: none"> - Vía para prueba dinámica de trenes, en función de las características del material rodante, puede considerarse como vía de pruebas algún tramo de la línea de circulación que reúna las condiciones mínimas, ya que no es posible incluir dentro del patio 	

Fuente: UT MOVIOUS 2022

El equipamiento del taller se clasifica en varias categorías:

- Los equipos que tienen interfaces significativas con la obra civil. Entre otros: máquina de lavado de trenes, torno en foso, columnas de elevación.
- Los equipos ferroviarios específicos. Entre otros: Locotransportes eléctricos, bancos de pruebas, material auxiliar de encarrilamiento.
- Los equipos estándares de talleres, entre otros: Unidades de soldadura, prensas, guillotina, prensa de plegado, afiladora, máquina de corte a disco, taladro vertical.
- Los equipos individuales comunes, entre otros: caja de herramientas, herramientas de limpieza, medidores, máquinas eléctricas a mano.
- El mobiliario de talleres, entre otros: gabinetes, bancos de trabajo, estanterías.

3.2.7.6. Layout

El layout del patio-taller se presenta en la Figura 150.

³ El tamaño y la forma del recinto del patio-taller no permitió la integración de una vía de pruebas. En este sentido, las pruebas se realizarán en línea (tramo recto y llano de +/-1 km). Se propone para ese fin el uso de la sección de vía ubicada entre las estaciones 9 y 10, que corresponde con estos criterios.

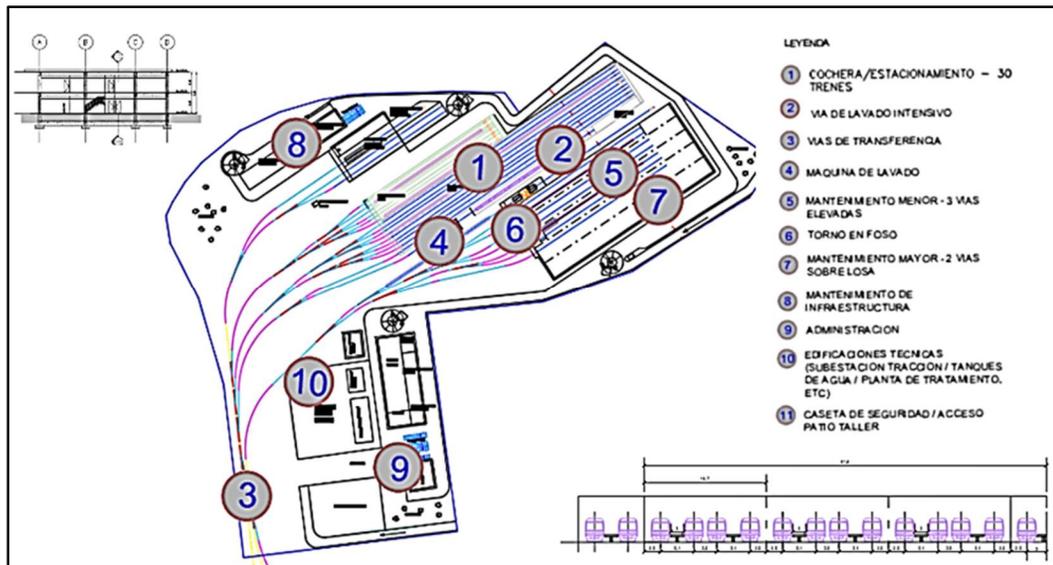


Figura 150. Layout del patio-taller
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.7.7. Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales dentro del patio-taller se generarán del lavado de pisos de las zonas de cocheras y de taller y mantenimiento, y se compondrán mayoritariamente de grasas y aceites producto de grasas y aceites que se utilicen en el mantenimiento de los trenes, y de sólidos suspendidos que el agua arrastre de los pisos. Las aguas residuales industriales serán conducidas por la red de drenajes hasta el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, el cual estará conformado por un separador API.

El separador API se usa para separar el aceite del agua residual y retener los sólidos y líquidos no miscibles, separables por gravedad. Un separador API es una estructura que trabaja por diferencia de velocidades y gravedades específicas del aceite respecto al agua. En este sistema, el sobrenadante (aceite flotante) es removido del agua mediante desnatadores que recolectan el aceite para ser dispuesto posteriormente.

El separador API que se construirá en el patio-taller tendrá los siguientes componentes internos:

- Una pantalla difusora para fomentar la unión de los glóbulos de aceite en el agua y permitir que el flujo de agua residual por tratar se encuentre homogéneamente distribuido.
- Una sección de módulos tubulares en la mitad del tanque separador API para fomentar la unión de los glóbulos de aceite y permitir que estos asciendan a la superficie del agua para ser recogidos por un desnatador
- Dos desnatadores ubicados al inicio y final del separador
- Dos pantallas retenedoras de aceite
- Un vertedero al final del separador API
- Un tanque interno de 5 m³ donde llegará el agua tratada después del vertedero
- Una cámara contigua de recolección de aceites

3.2.7.8. Sistemas de almacenamiento y distribución de combustibles

El Almacén General del patio-taller permitirá el almacenamiento de equipos y piezas para las operaciones menores y mayores de mantenimiento. Servirá para albergar repuestos para todo el sistema metro y será el lugar centralizado para la recepción de los materiales, piezas y equipos procedentes del exterior, en el que se deben verificar sus características antes de ingresarlos y ubicarlos en los almacenes que corresponda. En el Almacén General también se controlará la salida de los elementos o equipos requeridos en los distintos talleres.

Cada área de mantenimiento estará provista de armarios de almacén de pequeñas herramientas clasificadas por taller.

Las áreas de almacenamiento locales permitirán un acceso rápido vial desde el exterior y un acceso rápido después las vías de mantenimiento mayor. Los almacenes locales estarán conectados con el Almacén General, el cual los abastece.

El patio-taller dispondrá de una instalación de llenado de gas que será utilizada por los locotractores Diesel y por los vehículos. La estación de servicio será cubierta pero no cerrada, y será accesible por:

- Vías ferroviarias dedicadas al estacionamiento de los trenes de trabajo
- Vías comunes para los vehículos automotores.

La estación estará equipada con un tanque de retención, un pozo de arena, extintores, sistema de recogida y tratamiento de agua, entre otros, y en materia de almacenamiento y llenado de gasóleo cumplirá con las normas colombianas en vigor.

Los tanques de hidrocarburo no serán instalados cerca del sistema de transporte y las tuberías de hidrocarburo que pasan cerca del sistema de transporte dispondrán de medios de aislamiento.

3.2.8. Centro de Control Operacional (CCO)

Para operar una línea es fundamental que los sistemas ferroviarios sean operados de forma controlada, coordinada y supervisada. Para que los aspectos de control, coordinación y supervisión sean efectivos, es necesario hacerlo desde un único punto centralizado desde donde se acceda a toda la información, permitiendo tomar decisiones rápidas y acertadas.

El Centro de Control Operacional (CCO) abarca al conjunto de equipamiento que permite la supervisión y gestión centralizada de todos los sistemas de la L2MB.

1.2.9.1 Funciones

El CCO tendrá las siguientes funciones:

- Supervisión y control de la circulación de los trenes en línea principal y en el Patio-Taller (subsistema *Automatic Train Supervision* – ATS vinculada con el CBTC)
- Supervisión y Control de la energía SCADA-Energía (sistemas de Alimentación de Alta Tensión, Media Tensión, Alimentación Tracción para los Trenes y Alimentación Baja Tensión para estaciones y edificios)

- Supervisión de la seguridad e Información a los pasajeros en las estaciones y en los Trenes (CCTV, interfonía y megafonía, información al pasajero)
- Supervisión y Control de los equipos en estaciones (SCADA Estación)

3.2.8.1. Características

El CCO estará ubicado en los Mezzanines-2 de las estaciones E5 y E6, las cuales ofrecen buena accesibilidad para el personal que allí labore. En consecuencia, el CCO se beneficiará de toda la infraestructura de dichas estaciones.

El CCO de la L2MB será totalmente independiente del CCO de la PLMB.

El CCO de la L2MB contará con un CCO principal (CCOP) y un CCO de respaldo (CCOR) totalmente redundante en una ubicación diferente del CCO principal (CCOP). En caso de que la supervisión desde el CCOP se vea afectada por cualquier incidencia, el control podrá ser tomado de forma inmediata desde la otra ubicación.

El sistema del CCO unificará el control y la supervisión de los siguientes sistemas:

- El sistema SCADA Estación que asegura el control y mando de los equipos electromecánicos en las estaciones (puertas de andén o plataforma, escaleras, ascensores, detectores de incendio, ventilación, bombas, etc.)
- El sistema SCADA Energía que asegura el control y mando de los equipos eléctricos (SER, CDC y SAF)
- El sistema de Megafonía
- El sistema de Cronometría
- El sistema de Información a los pasajeros
- El sistema CCTV
- El sistema de Control de Accesos y Alarmas
- Los equipos de Peaje/ Control de Acceso
- Los sistemas de recaudo
- El sistema de Interfonía
- El sistema de Telefonía
- El sistema de Radiocomunicaciones
- La Red Multiservicios (RMS)
- El Sistema de Gestión del Mantenimiento (MMS)

3.2.8.2. Organización

El CCO garantizará la homogeneidad de la presentación de las pantallas control/comando o IHM entre los diferentes sistemas.

Además de las pantallas de cada operador, un tablero de control óptico (TCO) permite la visualización de los datos de energía, tráfico y CCTV.

La siguiente figura muestra una organización típica que se aplicará al CCO Principal:

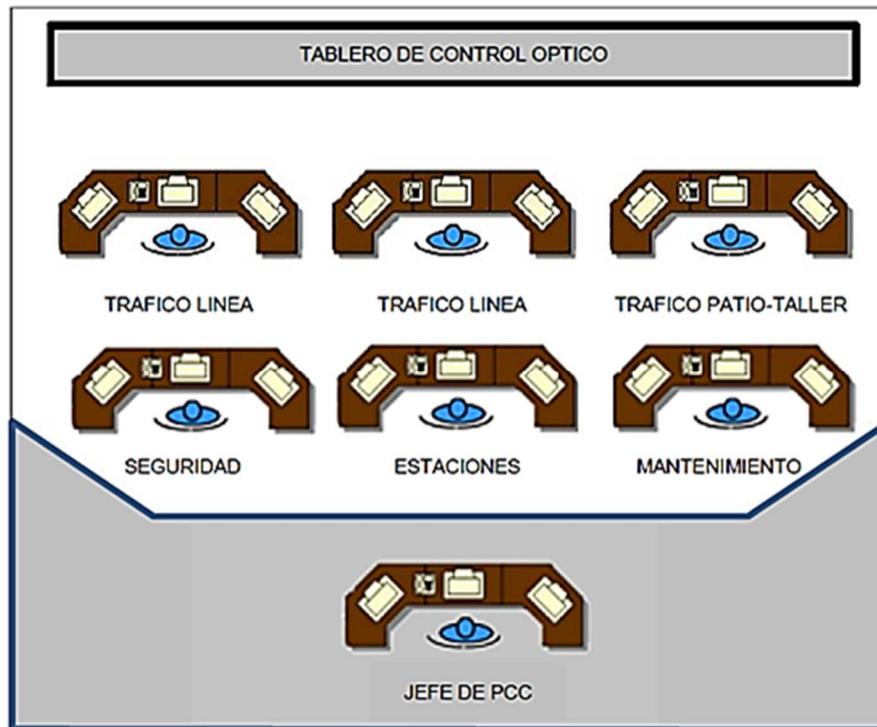


Figura 151. Organización en el CCO
Fuente: UT MOVIUS 2022

El CCO comprenderá siete puestos de trabajo integrados:

- 2 puestos para dos operadores de tráfico en línea que se encargan, en particular, del movimiento de los trenes en las zonas con pasajeros y de la gestión de la energía general de la Línea en función de los eventos de operación. También cuenta con un botón de emergencia que permite cortar la corriente de la línea y con un botón de emergencia que permite cortar la corriente en la zona UTO de los talleres, compartido con el operador PCC descrito anteriormente
- 1 puesto para un operador de tráfico Talleres que se encarga, en particular, del movimiento de los trenes en las zonas sin pasajeros (parte trasera de estación, cocheras). También cuenta con un botón de emergencia que permite cortar la corriente de la línea y con un botón de emergencia que permite cortar la corriente en la zona UTO de los talleres
- 1 puesto para un operador Estaciones que se encarga, más particularmente, de las estaciones e interestaciones, de los equipos electromecánicos, y de la ayuda al cliente (ayudar a la movilidad de las personas mientras estén en el interior de las instalaciones atendiendo peticiones de información y emitiendo mensajes de información)
- 1 puesto para un operador de seguridad de los pasajeros. Su función es gestionar las pantallas del CCTV en las estaciones y los trenes e intervenir en caso de detección de un problema de seguridad. El operador de seguridad puede ayudar al operador de estaciones en sus actividades de información al pasajero
- 1 puesto para un operador de mantenimiento que es responsable de la gestión de la interfaz con los equipos de mantenimiento correctivo de las instalaciones fijas y del material rodante. El operador de

mantenimiento gestiona las alarmas transmitidas por el SCADA y se asegura que se organicen las operaciones de reparación por parte de los departamentos de mantenimiento

- 1 puesto para el jefe del CCO, que se encarga de la coordinación total entre puestos de operador a la vez que, en caso requerido, toma el control de cualquier función de operador. También cuenta con un botón de emergencia que permite cortar la corriente de la línea, y un botón de emergencia que permite cortar la corriente en la zona de los talleres.

La organización en el CCO de respaldo podrá ser similar o reducida. Dada su función de respaldo, el número de los puestos de los operadores de tráfico puede ser menor.

Las figuras mostradas a continuación muestran ejemplos de CCO para la operación de líneas de Metro en el mundo:



Figura 152. CCO del Metro de Sidney
Fuente:UT MOVIUS 2022

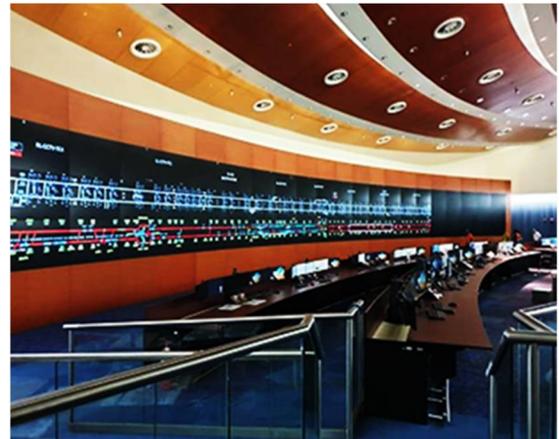


Figura 153. CCO del Metro de Dubai
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.8.3. Arquitectura típica del sistema de comando y supervisión

La operación desde el CCO principal y el CCO de respaldo se apoyará sobre una arquitectura típica, como la que se presenta en la siguiente imagen:

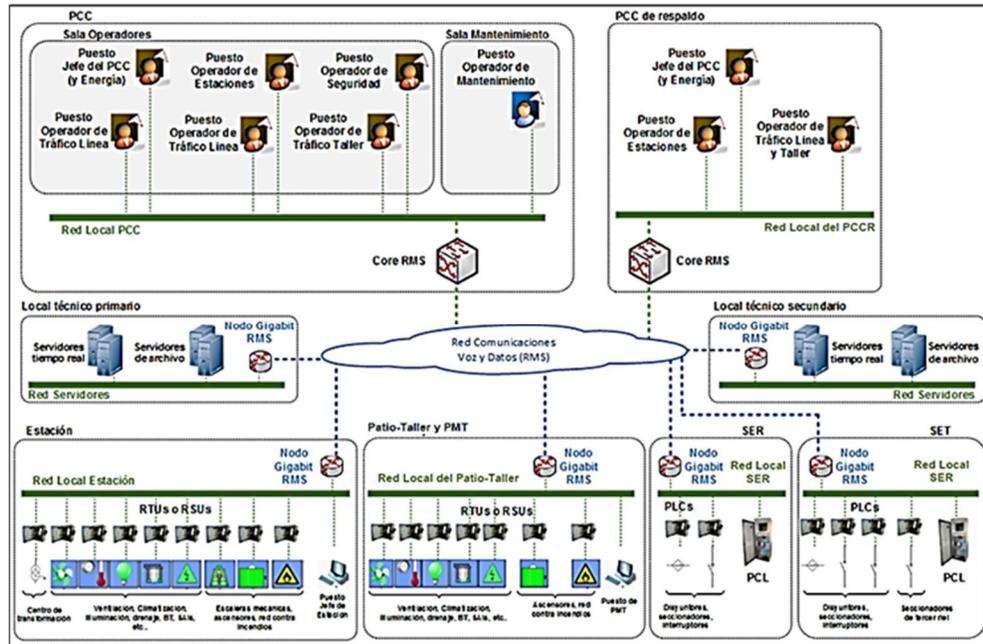


Figura 154. Arquitectura típica del SCS
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.8.4. Ubicación del CCOP Y CCOR

Para la L2MB, considerando la necesidad de un espacio amplio de alrededor de 150 m² para una sala de control, así como la necesidad de reducir el traslado de los equipos entre el CCOP y el CCOR en caso de incidente, y el costo de construcción, se prevé implementar el CCOP y el CCOR en las estaciones E5 y E6 al nivel Mezzanine -2.



Figura 155. Ubicación del CCOP en el nivel Mezzanine -2 en la estación 5
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Tal como se aprecia en la figura anterior, el nivel Mezzanine dispone de mucho espacio para poder implementar el CCO pero también una sala de crisis, salas para los equipos de mantenimiento y sala de capacitación.

Por otro lado, los servidores centrales previstos para la realización de la actividad de control y mando serán instalados en un DATA Center ubicado en el nivel inferior, Mezzanine nivel -3. La proximidad de la sala CCO con el Data Center permitirá reducir la cantidad del cableado y por lo tanto el costo del mismo.



Figura 156. Ubicación del data center al nivel Mezzanine - 3
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.9. Estaciones Metro

3.2.9.0.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

La red de alcantarillado sanitario proyectada corresponde al sistema de evacuación de las aguas servidas provenientes de las edificaciones proyectadas dentro del patio-taller, las cuales van a ser conducidas y dirigidas por gravedad hacia las redes existentes de alcantarillado del EAAB, por el costado sur sobre la diagonal 151.

La zona de drenaje del alcantarillado sanitario corresponde a las descargas provenientes de los baños proyectados en las edificaciones. Para el diseño del sistema de alcantarillado sanitario se tuvieron en cuenta los lineamientos establecidos en la Norma NS-085 “Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado”.

Para el dimensionamiento de las instalaciones sanitarias dentro de las edificaciones, se utilizó el método de unidades sanitarias modificado de Hunter (ICONTEC, NTC 1500. 2017). Teniendo en cuenta el número de aparatos sanitarios proyectados para cada edificio, se aplicó el número de unidades de los diferentes aparatos sanitarios.

La estimación del caudal de diseño se determinó a partir del caudal máximo probable obtenido mediante los caudales correspondientes a las unidades de fluxómetro. Las unidades tenidas en cuenta corresponden a relacionadas en la norma NTC 1500, cuarta actualización.

3.2.9.0.2. Áreas para el manejo integral de residuos convencionales y peligrosos

Se ha previsto que el manejo de residuos convencionales y peligrosos se realice en el área 3 de la Figura 139.

3.2.9.0.3. Sistemas de almacenamiento y distribución de combustibles

No se prevé la utilización de combustibles en las estaciones.

3.2.10. Intervención de sitios, infraestructura de interés e importancia (Bienes de Interés Cultural - BICs)

3.2.10.1. Patrimonio cultural material

Los patrimonios culturales materiales son bienes muebles e inmuebles visibles en el paisaje urbano y rural, incluyendo el espacio público, de carácter arquitectónico, construcciones y edificaciones que representan la memoria física, hechos por las sociedades del pasado de carácter histórico. Basado en los inmuebles que hacen parte del patrimonio cultural material, de carácter arquitectónico, se destaca el sector de interés cultural SIC. Sector de Chapinero, comprendido entre la Av. Caracas, la carrera 14 y la carrera 5, de occidente a oriente, y entre la calle 67 a la calle 72 de sur a norte. Y dos BIC que hacen parte del área de intervención de la estación E1.

Sector que se encuentra dentro del área de influencia urbana definido para la asesoría de la estructuración técnica de la L2MB estación E1, la cual no hay afectación directa, dentro de la intervención de la estación E1.

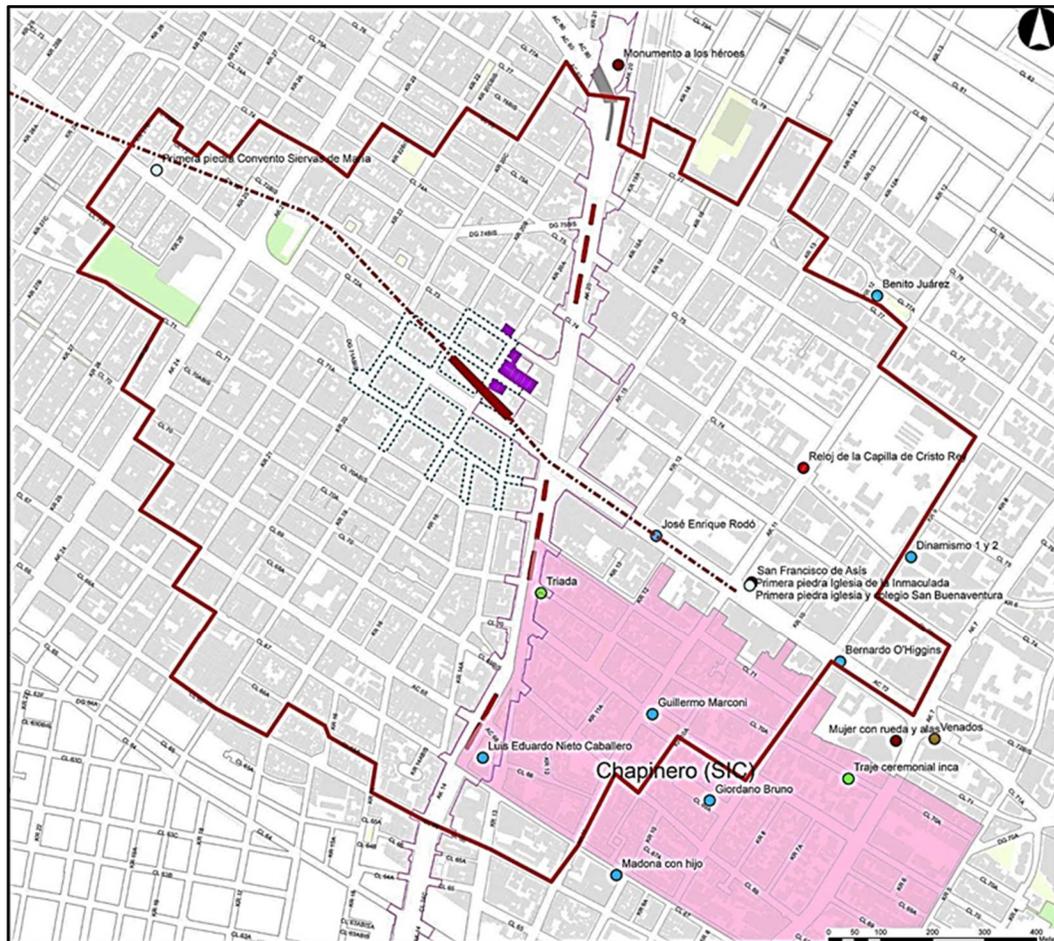


Figura 157. Sector de Interés Cultural - SIC. Chapinero

Fuente: Tomada y adaptada. Galería de Mapas P.O.T. 2021. Estructura Integradora de Patrimonio. (2021).

A continuación se detalla el análisis y diagnóstico de los elementos de carácter patrimonial del ámbito nacional, distrital y monumentos que tienen presencia en el Área de Influencia Urbana y del Límite de Diseño de la L2MB.

3.2.10.2. Bienes de interés cultural - Nacionales

Mediante comunicado con asunto "Trasladado de IDPC 20213010063171 del radicado 20215110083142 - Certificación como Bien de Interés Cultural del ámbito Nacional – predios incluidos en el área del proyecto denominado Contrato 56/2021", esta consultoría recibe información de bienes de interés cultural del ámbito nacional (BIC NAL) ubicados en el Área de Influencia Urbana del proyecto L2MB, los cuales se relacionan en la Tabla 52 a continuación:

Tabla 52. Bienes de Interés Cultural del ámbito Nacional

BIENES DE INTERÉS CULTURAL EN EL ÁMBITO NACIONAL							
Nº	Nombre del bien	Otros nombres	Dirección / Límites	Acto administrativo	Zona de influencia delimitada	PEMP APROBADO (Plan Especial de Manejo y Protección)	Observaciones
1	Gimnasio Moderno	-	Carrera 9 74-99, Calle 74 9-90 10-04, Carrera 11 74-64	Decreto 1133 del 24 de abril de 1985 / de 1985 Resolución 055 del 31 de agosto de 1990.	Resolución 055 del 31 de agosto de 1990		No requiere intervención por parte de la L2MB
2	Edificio casa Medina	Hotel Casa Medina	Carrera 7 69A-64 69A-74 69A-80 69A-84 69A-94, Calle 69A 6-66 6-68 6-72 6-74 6-80	Decreto 3002 del 10 de diciembre de 1984			No requiere intervención por parte de la L2MB
3	Conjunto de inmuebles denominados claustros A y B de la Enseñanza e iglesia de nuestra señora del pilar	Antiguo Colegio La Enseñanza	Calle 72 7-55 Calle 72 y Calle 70A, entre carreras 7 y 9.	Resolución 2560 de 22 de septiembre de 2016	Resolución 2560 de 22 de septiembre de 2016	Resolución 2560 del 22 de septiembre de 2016 (aprueba); Resolución 2774 de 18 de octubre de 2016 (aclara, modifica y adiciona)	No requiere intervención por parte de la L2MB
4	Casa Villa Adelaida	-	Carrera 7 70-40	Resolución 479 del 6 de mayo de 2004	Resolución 647 de 2009 Resolución 799 de 2009 (aclara PEMP)	Resolución 479 del 6 de mayo de 2004 /Resolución 647 de 2009 Resolución 799 de 2009 (aclara PEMP) /Resolución 647 de 2009 Resolución 799 de 2009 (aclara PEMP).	No requiere intervención por parte de la L2MB

Fuente: Tomada. Ministerio de Cultura. Radicado MC32361E2021. (2021)

La Tabla 52 muestra la información de los Bienes de Interés Cultural del ámbito Nacional solicitada a la Dirección de Patrimonio y Memoria del Ministerio de Cultura, los (BIC NAL) localizados a 800 metros a cada costado del eje férreo, los cuales hacen parte del Área de influencia Urbana (800 m).

De la información verificada a nivel cartográfico se identifica en el Área de influencia Urbana (800 m) la presencia del BIC NAL Gimnasio moderno, con cercanía a la Estación E1.

En el Límite de Diseño del proyecto de la L2MB no hay presencia de BIC NAL.

3.2.10.3. Bienes de interés cultural - Distritales

A continuación se presenta listado de BIC del ámbito distrital con presencia en el Área de Influencia Urbana en las estaciones 2 y 7 del proyecto, se resalta en color azul el Centro Vicentino Federico Ozanam, categoría de conservación integral predio inmediato en el Límite de Diseño.

Tabla 53. Bienes de Interés Cultural del ámbito Distrital Área de Influencia Urbana

BIENES DE INTERÉS CULTURAL EN EL ÁMBITO DISTRITAL					
N°	Nombre	Categoría	Dirección / límites	Acto administrativo	Observaciones
1	Club de los lagartos	CI	CL 116 72A-80	Se incluye mediante Resolución SDP 0491 de abril 11 de 2016. Oficio SDP 2-2017-49939 de septiembre 18 de 2017	El bien de Interés Cultural queda contiguo a la Estación No.7 (Tipología Subterránea). Se genera cruce sobre subsuelo del bien a través de túnel a 28 m de profundidad aproximadamente. No hay afectación predial y no genera incidencia en los conos visuales, y en la superficie del BIC.
2	Hospital Lorentica Villegas de Santos	CI	Carrera 40 No. 67 A-21/25, Calle 66 A No. 40-61, Carrera 42 No. 67 A-42, Carrera 42 No. 68-08/38	Oficio SDP 2-2017-49940 de septiembre 18 de 2017	El predio está localizado, en el costado Nor Occidental de la Estación No.2, después del Canal Río Salitre, No se tiene intervención en este BIC.
3	Centro Vicentino Federico Ozanam	CI	Calle 71 A No. 39- 31 - Calle 71 No. 39-30	Oficio SDP 2-2017-49940 de septiembre 18 de 2017	Predio inmediato a la Estación No.2. Se integrará a nivel de espacio público. Se consideran criterios paisajísticos que permitan jerarquizar este BIC frente al entorno inmediato sin intervenir el predio.
4	Parroquia San Fernando Rey	CI	Avenida Chile No. 45 A- 10/16/86	Oficio SDP 2-2017-49940 de septiembre 18 de 2017	Predio ubicado al costado occidental de la Estación No.2 y no

BIENES DE INTERÉS CULTURAL EN EL ÁMBITO DISTRITAL

					tendrá intervención por parte de la L2MB.
5	Iglesia Santísima Trinidad.	CI	Carrera 33 No. 69- 24		Ubicación aislada de la estación 2 dentro del Área de Influencia Urbana
6	Convento Siervas de María	CI	Calle 73 No. 27- 3, Avenida Calle 72 No. 27- 40/ 10	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017	Predio ubicado al costado oriental de la Estación No.2 Se genera cruce sobre subsuelo del bien a través de túnel a 32 m de profundidad aproximadamente. No hay afectación predial y no genera incidencia en los conos visuales, y en la superficie del BIC.

IIC = INMUEBLE DE INTERÉS CULTURAL; SIC = SECTOR DE INTERÉS CULTURAL; CM = CONSERVACIÓN MONUMENTAL; CI = CONSERVACIÓN INTEGRAL; CT = CONSERVACIÓN TIPOLOGICA; RT = RESTITUCIÓN TOTAL; RP = RESTITUCIÓN PARCIAL.

Fuente: Tomada y adaptada. Inventario BIC Decreto 606-2001 ciudadanía. (2001)

Se resalta que en el predio ubicado en la localidad:11-Suba, Barrio Catastral:009121-Club de los Lagartos, Código sector: 009121, Código manzana 00912112, Calle 116 No. 72 A 80, categoría Inmueble de Interés Cultural (IIC), se genera cruce sobre subsuelo del BIC a través de túnel a 28 m de profundidad aproximadamente, sin afectación predial y sin generarse incidencia en los conos visuales.

En cuanto la estación E1 se requiere la intervención de los predios CL 72 A 20 93 Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017 y CL 72 A 20 85 Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017. Véase Tabla 54, donde se resaltan en color azul claro los Bienes de Interés Cultural Distrital de conservación tipológica en el planteamiento urbano e intervención necesaria para permitir la conectividad con la Estación E1 de la L2MB.

Tabla 54. BIC Distritales inmediatos al Límite de Diseño E1

No	Categoría	Dirección	Piso	Otros
1	CT	CL 72 A 20 93	2	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
2	CT	CL 72 A 20 40	3	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
3	CT	KR 20 A 72 A 44	2	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
4	CT	CL 73 20 81	2	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
5	CT	KR 20 A 72 A 18	2	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
6	CI	CL 72 A 20 82	2 y altílo	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017

No	Categoría	Dirección	Piso	Otros
7	CT	CL 72 A 20 85	2	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
8	CT	KR 20 A 73 1	2	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
9	CT	CL 72 A 20 70	2 y altillo	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
10	CT	CL 72 A 20 62	3	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017
11	CT	CL 72 A 20 58	3	Oficio SDP 2-2017-17274 de abril 24 de 2017

IIC = INMUEBLE DE INTERÉS CULTURAL; SIC = SECTOR DE INTERÉS CULTURAL; CM = CONSERVACIÓN MONUMENTAL; CI = CONSERVACIÓN INTEGRAL; CT = CONSERVACIÓN TIPOLOGICA; RT = RESTITUCIÓN TOTAL; RP = RESTITUCIÓN PARCIAL.

Fuente: Tomada y adaptada. Inventario BIC Decreto 606-2001 ciudadanía. (2001)

3.2.10.4. Bienes culturales muebles en el espacio público

En cuanto a los monumentos dentro del Área de Influencia Urbana (800m), se identifica la presencia de los bienes muebles en el espacio público "monumentos" patrimonio Artístico e Histórico entre esculturas y piezas artísticas que hacen parte de la identidad del sector y la trascendencia de la época los cuales se relacionan a continuación:

Tabla 55. Monumentos dentro el Área de Influencia Urbana de la L2MB

No	Nombre	Clasificación	Dirección	Autor	UPL	Identificación	Decreto Distrital	Estación
1	San Francisco de Asís	Conjunto escultórico	KR 11 - AC 72	Montañés y Montañés, Fernando	Chicó Lago	AAA0094PDJZ	-	E1
2	Triada	Escultura Abstracta	CL 70A 13 83	Beltrán Castiblanco, Gabriel	Chicó Lago	AAA0088MOOE	-	E1
3	Luis Eduardo Nieto Caballero	Escultura Antropomorfa	CL 67 Y CL 68 - KR 13 Y AK 14	Montañés y Montañés, Fernando	Chicó Lago	IDRD 02-016	-	E1
4	Bernardo O'Higgins	Escultura Antropomorfa	AC 72 - KR 9	Anónimo	Chicó Lago		Res. SCR D 360 de 31 julio 2020	E1
5	José	Escultura	AC 72 - KR 11	Prati,	Chicó		Res. SCR D	E1

No	Nombre	Clasificación	Dirección	Autor	UPL	Identificación	Decreto Distrital	Estación
	Enrique Rodó	Antropomorfa	Y KR 12	Edmundo	Lago		360 de 31 julio 2020	
6	Guillermo Marconi	Escultura Antropomorfa	AK 11 - CL 70	Roma Rosciali	Chicó Lago	IDRD 02-057	-	E1
7	Primera piedra iglesia y colegio San Buenaventura	Placa	KR 11 - AC 72	Orden franciscana	Chicó Lago	AAA0094PDJZ	-	E1
8	Primera piedra Iglesia de la Inmaculada	Placa	KR 11 - AC 72	Orden franciscana	Chicó Lago	AAA0094PDJZ	-	E1
9	Reloj de la Capilla de Cristo Rey	Reloj	CL 74 11 56	No aplica	Chicó Lago	AAA0094MBLW	-	E1
10	Manuela Ayala de Gaitán	Escultura Antropomorfa	DG 76 BIS - KR 51	Anónimo	Doce de Octubre	IDRD12-089	-	E2
11	Rafael Uribe Uribe	Escultura Antropomorfa	KR 29 A - CL 71C	Cuéllar, Silvano	Los Alcázares	RUPI 4106-2	Res. SCRD 360 de 31 julio 2020, Declaratoria Nacional, Res.0395 de 2006	E2
12	Primera piedra de la Iglesia San Fernando Rey	Placa	CL 72 57A 16	Arquidiócesis de Bogotá	Doce de Octubre		-	E2
13	Primera piedra Convento Siervas de María	Placa	CL 72 27 10	Arquidiócesis de Bogotá	Los Alcázares	AAA0086TBNN	-	E2
14	Reloj de la Iglesia San Fernando Rey	Reloj	CL 72 57A 16	Anónimo	Doce de Octubre	AAA0056OHYX	-	E2

No	Nombre	Clasificación	Dirección	Autor	UPL	Identificación	Decreto Distrital	Estación
15	Gustavo Rojas Pinilla	Escultura Antropomorfa	KR 70 - CL 72	Anónimo	Las Ferias		Res. SCR D 360 de 31 julio 2020	E4
16	Parque lúdico Puerta del Sol	Conjunto escultórico	CL 139 126C - 02	Colmenares, Manolo; MACI (Movimiento Artístico Cultural Indígena)	Tibabuyes	IDRD 11-093	-	E10
17	Alegoría a la educación	Conjunto escultórico	KR 111A 139 88	Osorio Bisbal, José Vicente	El Rincón	AAA0129FUWW	-	E10
18	La Gaitana	Escultura Antropomorfa	TV 125 BIS - CL 135A	Salvador, Ricardo	Tibabuyes	IDRD 11-311	-	E10
19	Creación del mundo según la cosmogonía muisca	Mural	KR 111A 139 88	Colmenares, Manolo. MACI (Movimiento Artístico Cultural Indígena)	El Rincón	AAA0129FUWW	-	E10

Fuente: Tomada y adaptada. Inventario de bienes culturales muebles - inmuebles en el espacio público de Bogotá D.C.

Se genera el cruce de la L2MB a nivel de subsuelo con el monumento José Enrique Rodó; el monumento no tiene afectación normativa alguna puesto que la intervención es a nivel de subsuelo, con el túnel a 32 m de profundidad aproximadamente. No se requiere intervención ni existe afectación del bien de interés cultural mueble dentro del espacio público, ubicado en el separador central de la AC 72 - KR 11 y KR 12.

Monumento José Enrique Rodó: Autor: Desconocido. Inauguración: 3 de agosto de 1942. Emplazamiento: Inicial: Avenida Caracas, calle 37. Actual: separador de la calle 72, carrera 11 y 12.

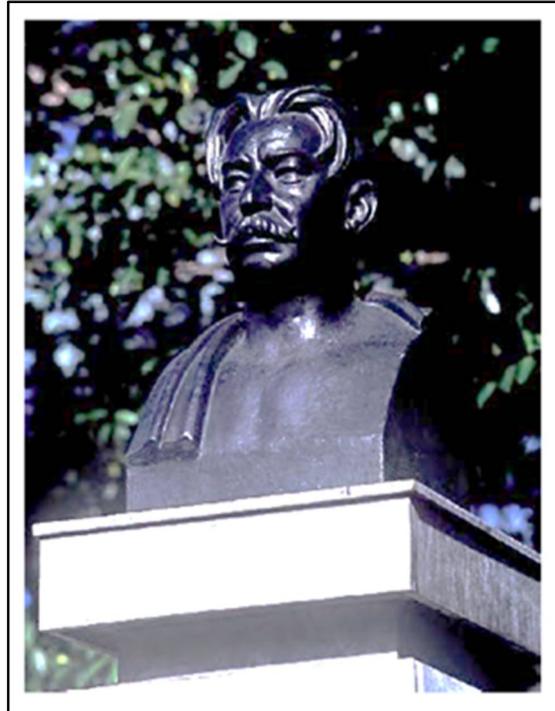


Figura 158. Monumento José Enrique Rodó
Fuente: Tomada y adaptada.

https://issuu.com/patrimoniobogota/docs/bogota_museo_a_cielo_abierto_completo/413. (2011)

El busto del escritor uruguayo José Enrique Rodó (Montevideo, 1871-Palermo –Sicilia, 1917) fue donado a la ciudad de Bogotá por el ciudadano uruguayo Alejandro Gallinal. La obra fue emplazada en el costado occidental de la Av. Caracas con calle 37. Su inauguración se efectuó en la mañana del 3 de agosto de 1942, durante los festejos patrios de ese año.

3.2.10.5. Patrimonio natural

Dentro de las estructuras territoriales capítulo 4, sub capítulo 2 Estructura Integradora de Patrimonios-EIP, del 555 del 29 diciembre 2021 en el cual se define:

“Es el conjunto de bienes y riquezas naturales, o ambientales que la sociedad ha heredado de sus antecesores y a los que se les concede un valor como activos culturales, promotores de tejidos sociales que contribuyen a su conservación. Está integrado por los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas que tengan un valor universal excepcional, las formaciones geológicas y fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies animal y vegetal, amenazadas o en peligro de extinción. Incluye los elementos de la Estructura Ecológica Principal que, reconocidos como activos culturales y ambientales, ancestrales y cosmogónicos, hacen parte del patrimonio natural.” (Decreto 555 de 2021. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021)

Dentro del Área de Influencia Urbana de la L2MB, se encuentran el Humedal Juan Amarillo y el Humedal Santa María del Lago, los cuales se reconocen como activos culturales, ambientales y ancestrales, de los que hacen parte del patrimonio natural.

Humedal Juan Amarillo: El Parque Ecológico Distrital Humedal (PEDH) Juan Amarillo o Tibabuyes, recibe su nombre del lenguaje chibcha que quiere decir “tierra de labranza” o “labradores”, gracias a la riqueza del terreno que servía como punto de encuentro de este pueblo Muisca, en el que se realizaban actividades de agricultura y pesca. Lo mencionado se toma como referencia de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá - Humedales Bogotá. Se encuentra localizado al costado occidental de la Av. Ciudad de Cali, donde están proyectadas las estaciones 7 y 8 de la L2MB.



Figura 159. Humedal Juan Amarillo

Fuente: Tomada de. <http://humedalesdebogota.ambientebogota.gov.co/inicio/>. (2019)

Humedal Santa María del Lago: El Humedal Santa María del Lago se encuentra localizado en el Área de Influencia Urbana de las estaciones 4 y 5. Fue declarado Parque Ecológico Distrital de Humedal mediante el Decreto 619 de 2000 (POT Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2000). El régimen de usos para este ecosistema se definió mediante el artículo 96 del Decreto 190 de 2004 (compila las disposiciones del decreto 619 de 2000 y 469 de 2003). Su Plan de Manejo Ambiental fue adoptado mediante Resolución SDA 7773 del 22 de diciembre de 2010. Se encuentra localizado al noroccidente de la ciudad, en la localidad de Engativá, y hace parte de la Unidad de Planeamiento Local-UPL- Tabora Decreto 555 del 29 diciembre del 2021. Pertenece a la cuenca del Río Salitre. Cuenta con más de 1000 metros lineales de senderos y está provisto de espacios para la recreación pasiva tales como plazoletas, miradores y un observatorio de aves. El humedal ofrece a los visitantes servicios de educación ambiental a través del grupo de profesionales de la Secretaría Distrital de Ambiente que realiza diferentes actividades como recorridos interpretativos, avistamiento de aves, actividades lúdicas, realización de talleres y jornadas de reciclaje entre otras. Lo mencionado se toma como referencia de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá - Humedales Bogotá.



Figura 160. Humedal Santa María del Lago
Fuente: Tomada de <http://humedalesdebogota.ambientebogota.gov.co/inicio/>. (2019)

3.2.11. Urbanismo

3.2.11.1. Descripción del urbanismo a implementar en el proyecto

❖ Intervención en estaciones subterráneas

La propuesta de espacio público para las estaciones subterráneas de la L2MB busca ofrecer espacios acordes con la integración modal, consolidar nuevas áreas de espacio público, abiertos y colectivos, y generar zonas verdes que fortalezcan la funcionalidad del proyecto.

Por medio del diseño de espacio público se busca controlar el tráfico automotor y evitar el estacionamiento sobre andenes y vías aferentes de las estaciones. Para ello, la intervención propone la semipeatonalización y pacificación de ciertas vías circundantes, con soluciones a los accesos privados, incorporación de bahías e instalación de bolardos de control. Esta acción está encaminada hacia la priorización del peatón sobre el vehículo.

Adicionalmente, se busca mejorar las condiciones de los andenes mediante su revitalización y mejoramiento integral, cumpliendo la normativa vigente y asegurando el acceso universal desde y hacia el espacio público por medio de circulaciones continuas y libres de obstáculos, con materiales idóneos que permitan la circulación segura y continua de los ciudadanos alrededor de las estaciones, sean o no usuarios del sistema metro. También se pretende armonizar el espacio público proyectado con el existente y asegurar tanto la continuidad de la red peatonal de la ciudad como el acceso a la infraestructura del metro.

En la Figura 161 se sintetizan los aspectos generales considerados en las Estaciones de la L2MB.

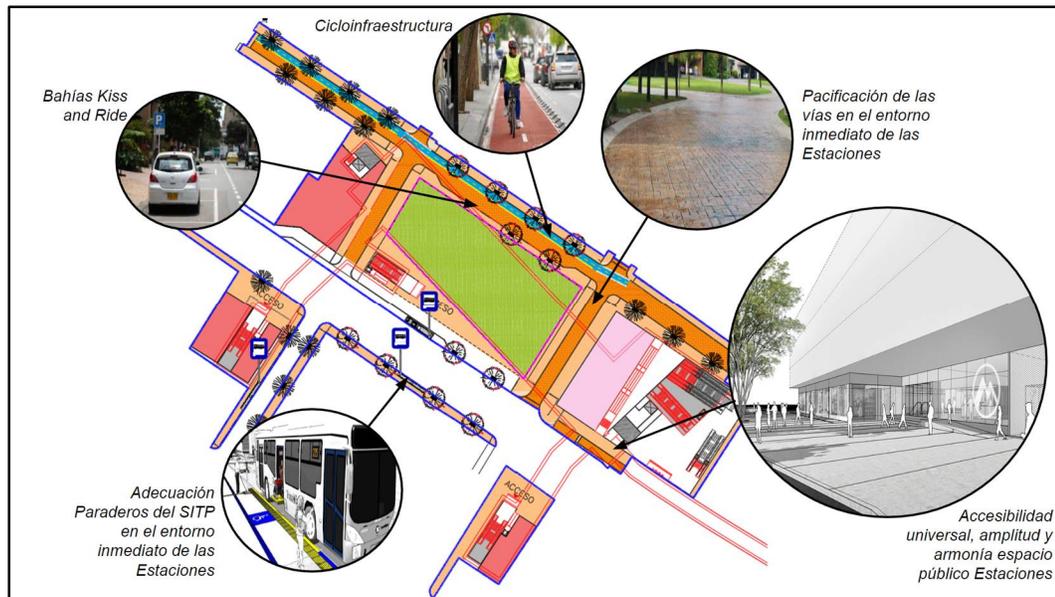


Figura 161. Aspectos generales considerados en la intervención del Urbanismo de las Estaciones de la L2MB.

Fuente: UT MOVIOUS 2022

A manera de ejemplo, a continuación se describe la intervención prevista en la Estación E2 - NQS:

La Estación E2 se localiza sobre el costado sur de la calle 72 entre Av. Carrera 30 (NQS) y la carrera 52 en la Localidad de Barrios Unidos, específicamente sobre las manzanas con identificador único 005202038, 005202032 y 005202024.

El área de influencia urbana de la misma involucra los siguientes proyectos urbanos y arquitectónicos, que serán armonizados con la Estación E2 mediante intervención en superficie a nivel de calle.

- Contrato IDU 1564 de 2028 “Estudios, diseños y construcción de calles comerciales a cielo abierto, en las localidades de la ciudad de Bogotá, D.C.”.
- Contrato de consultoría 0016 de 2020 “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”. En este caso el diseño arquitectónico y estructural de la L2MB considera la integración en el área de vestíbulo en nivel de mezzanine -1, de manera que los pasajeros puedan pasar directamente de un sistema a otro.
- Resolución 2336 de 2010 “Por la cual se adopta el plan de regularización y manejo de la plaza de mercado doce de octubre, ubicada en la localidad n°12, barrios unidos de Bogotá D.C.”, por medio de la cual se determina que los locales comerciales de dicha plaza ubicados sobre la calle 72 tendrán que ser retirados para la construcción de un control ambiental acorde a la normativa Distrital, como se ilustra en la Figura 162.



Figura 162. Plaza de Mercado 12 de Octubre - Cesión Control Ambiental sobre Calle 72
Fuente: UT MOVIUS 2022

La estación E2 de la L2MB prevé cuatro ingresos distribuidos así:

- **Acceso 1.** Ingreso en la proyección en superficie del cuerpo principal por el costado occidental de la E2, al costado sur de la calle 72. Recoge los flujos del sector del barrio San Fernando y del costado sur del canal Salitre al occidente de la NQS.
- **Acceso 2.** Ubicado en la proyección en superficie del cuerpo principal de la E2 costado oriental. Recoge los flujos peatonales provenientes de la NQS.
- **Acceso 3.** Ubicado al costado oriental de la NQS (en el espacio disponible entre el actual IED Francisco Primero S.S. y el puente peatonal de acceso a la Estación de Transmilenio Av. Chile). Permite el ingreso a la E2 de los flujos provenientes del costado oriental de la NQS.
- **Acceso 4.** Ingreso satelital ubicado en áreas de locales comerciales de la actual plaza de mercado del 12 de octubre al costado norte de la calle 72. Su localización es estratégica por la presencia de la plaza de mercado y porque recoge el flujo peatonal del costado norte de la calle 72.

Lo anteriormente indicado se ilustra en la Figura 163.



Figura 163. Implantación Urbana Estación 2 L2MB
Fuente: UT MOVIUS 2022

A nivel urbanístico, se proyectan las construcciones en superficie y módulos de acceso en áreas de corredores principales, garantizando la continuidad de la reserva vial y el retroceso de 5 metros equivalente a un control ambiental para áreas urbanamente consolidadas en Bogotá..

En cada extremo de la estación se proyectan ductos de ventilación que se desplazan de acuerdo con la estructura urbana, procurando localizarlos de forma axial al cajón de la estación.

La intermodalidad de la Estación E2 NQS se representa en la Figura 164.



Figura 164. Intermodalidad Estación E2

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Estación E2 convergen distintos modos de transporte, incluyendo la proyección de la L3MB (Decreto 555 de 2021), la estación Avenida Chile de TransMilenio por la NQS, la proyección del Regiotram del Norte, paraderos SITP reglamentados por la Secretaría Distrital de Movilidad, y flujos de bicisuarios y peatonales.

La disposición, distancia y localización de los módulos de acceso proyectados buscan facilitar el acceso a personas con discapacidad o movilidad reducida, procurando recorridos seguros, intuitivos, ágiles y confiables para el usuario. Así mismo, pretenden reducir longitudes de recorrido.

La integración física del usuario que viene del sur de la calle 72 y del costado oriental de la Av. NQS al Módulo de Acceso de la Estación E2 se dará a través de espacio público, cruzando el puente peatonal de la Av. NQS para llegar al punto 1, conectando directamente y accediendo a la zona no paga de la Estación E2, para validar el ingreso y entrar a la zona paga.

La integración física del usuario que viene del costado occidental de la Av. NQS al Módulo de Acceso de la Estación E2 se dará a través de espacio público, llegando al punto 1, conectando directamente y accediendo a la zona no paga de la Estación E2, para validar el ingreso y entrar a la zona paga.

La integración física del usuario que viene del norte de la calle 72 al Módulo de Acceso de la Estación E2 se dará a través de espacio público llegando al punto 2, conectando directamente y accediendo a la zona no paga de la Estación 2, para validar el ingreso y entrar a la zona paga.

La conexión con la estación de Regiotram del Norte se hará mediante un puente peatonal con un recorrido aproximado de 311 metros, desde punto "a" para llegar al Módulo de Acceso en el punto 1 en zona no paga.

Los usuarios que vienen hacia y desde la estación Avenida Chile (punto b) del sistema Transmilenio se integrarán mediante un puente peatonal hasta llegar al módulo de acceso punto 1, con un recorrido aproximado de 209 metros.

La integración con los paraderos SITP se dará desde zona no paga (espacio público), donde el usuario pueda visualizar los ingresos a los módulos de acceso a la estación mediante una adecuada señalética.

❖ Intervención en zonas bajo viaducto

En el tramo de la Av. Transversal de Suba entre carreras 136a y 147 el metro se construirá elevado sobre el separador central proyectado.

Los grandes volúmenes generados por la estructura del metro elevado generan bajo el viaducto zonas oscuras que los ciudadanos perciben como inseguras y peligrosas, y son espacios propicios a ser invadidos por habitantes de calle, inclusive si se proyecta un cerramiento en los mismos.

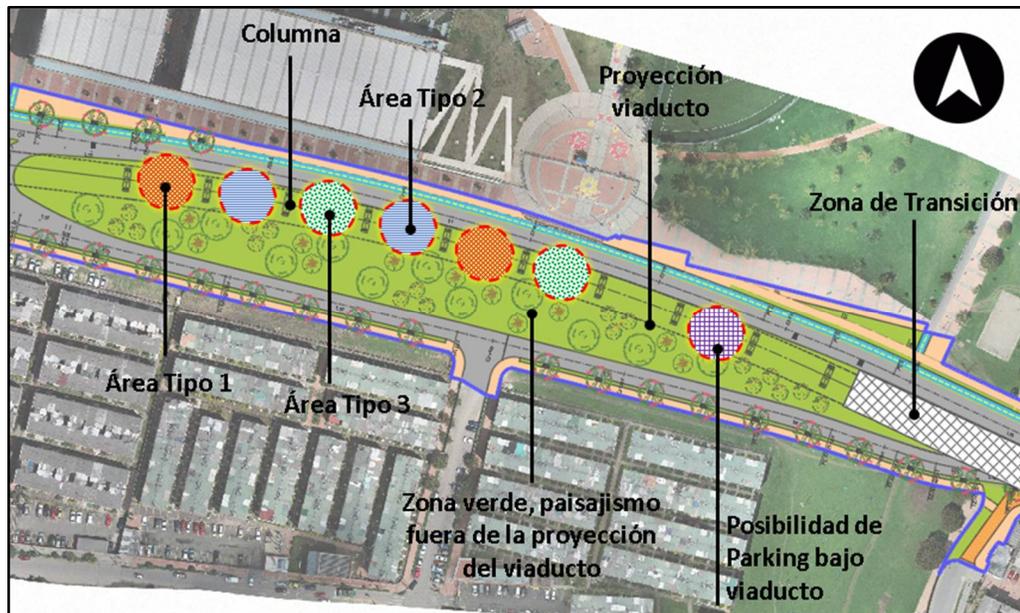




Figura 165. Criterios de intervención para las zonas bajo viaducto
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Para contrarrestar lo anterior, se recomienda posibilitar en las áreas bajo viaducto servicios y actividades diurnas y nocturnas que permitan la apropiación de estos lugares y aprovechar las zonas cubiertas para complementar aquellas que cotidianamente se realizan en el Parque Fontanar, como una extensión del mismo, con las ventajas y particularidades que las actividades bajo techo tienen en cuanto a protección de eventos naturales como el sol y la lluvia.

Bajo esta posibilidad, se plantean tres tipos de áreas y actividades en las zonas bajo viaducto (Figura 165).

→ Áreas Tipo 1

Corresponden a áreas que posibilitan actividades deportivas tales como baloncesto 3x3, *skatepark*, o canchas múltiples. Considerando que estas actividades deportivas no requieren áreas extensas; el espacio disponible bajo el viaducto entre pilas será suficiente para implantarlas.

→ Áreas Tipo 2

Corresponden a áreas que posibilitan actividades recreativas orientadas a los niños y al adulto mayor. Tienen la particularidad de ser áreas flexibles que no cuentan con requerimientos normativos rígidos en materia de dimensionamiento de áreas.

→ Áreas Tipo 3

Corresponden a áreas que se presentan como espacio público bajo viaducto, en donde no se establece mobiliario fijo sino áreas libres y flexibles sobre superficies duras, que posibilitan actividades itinerantes como mercados temporales, teatro, festivales gastronómicos, actividades y exposiciones artísticas, entre otras.

➤ Estacionamientos bajo viaducto

Otra posibilidad que se vislumbra es la de permitir áreas para estacionamiento de vehículos bajo el viaducto, propuesta que va de la mano por lo dispuesto en el Decreto 379 del 12 de octubre de 2021, donde se indica lo siguiente:

"Por medio del cual se modifica y se adiciona el Decreto Distrital 519 de 2019 'Por medio del cual se reglamenta el Acuerdo Distrital 695 de 2017 en lo relacionado con el estacionamiento en vía pública y se dictan otras disposiciones', para establecer la operación pública del Estacionamiento en Vía."

Estas zonas serían parte integral de las "Zonas de Parqueo Pago en Bogotá", previa autorización de la Secretaría Distrital de Movilidad para el uso temporal del estacionamiento en vía pública, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente.

Su funcionamiento y operación estaría a cargo de la entidad que el Distrito y el ordenamiento jurídico dispongan. La Secretaría Distrital de Movilidad, igualmente, tendría facultades para definir los horarios de operación de los segmentos viales que se destinen al servicio de estacionamiento, de acuerdo con las condiciones particulares de cada zona o área de implementación.

El sustento de las actividades antes propuestas será el manejo de la iluminación pública en las áreas bajo viaducto.

La Figura 165 y Figura 167 ilustran las actividades propuestas en las zonas bajo viaducto.



Figura 166. Actividades bajo viaducto parte 1
Fuente: Tomada y adaptada Google Maps



Figura 167. Actividades bajo viaducto parte 2
Fuente: Tomada y adaptada Google Maps

❖ Intervención en pozos (salidas de emergencia)

El proyecto contempla la construcción de 11 pozos y salidas de emergencia, de los cuales 10 contarán con un espacio complementario para la ventilación del túnel. En la Figura 168 se presenta la localización general de los pozos.



Figura 168. Localización general de pozos.
Fuente:UT MOVIUS 2022

A nivel de implantación de cada pozo, se proyecta la localización de un cerramiento en lámina microperforada de 3 m de altura que rodeará el lote en dirección a las áreas exteriores. En las áreas colindantes con predios o construcciones, se proyectan muros en bloque con perforación vertical para garantizar la estabilidad de las cunetas de predios por conservar.

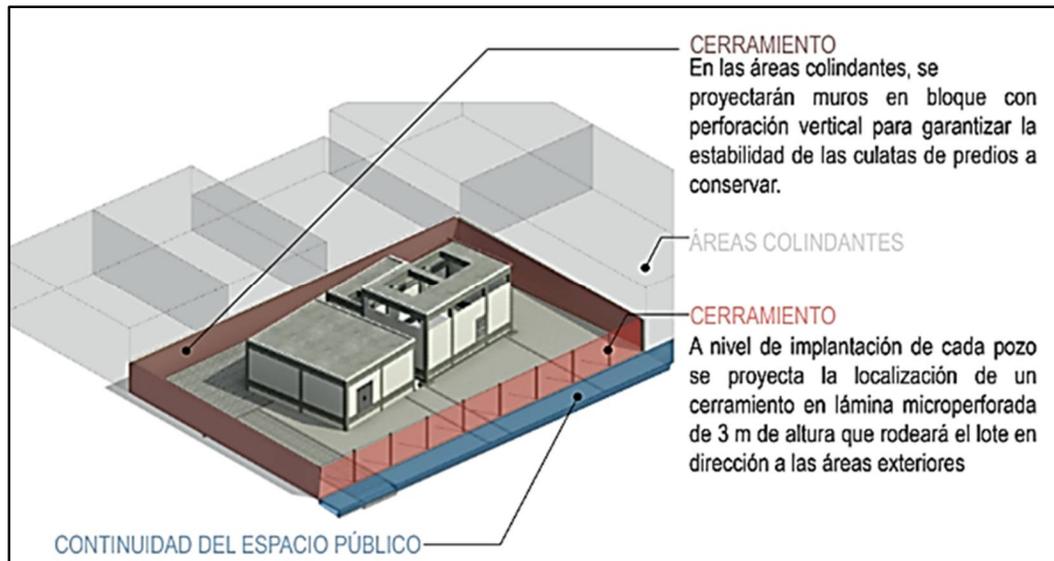


Figura 169. Planteamiento relación entorno inmediato pozos
Fuente:UT MOVIUS 2022

En la implantación sobre el espacio público se dará continuidad a los elementos existentes de espacio público para no afectar la paramentación y continuidad de las manzanas, garantizar la funcionalidad vial existente y la funcionalidad de los flujos peatonales, y facilitar la aproximación a cada pozo de vehículos tipo ambulancia, emergencia civil o bomberos.

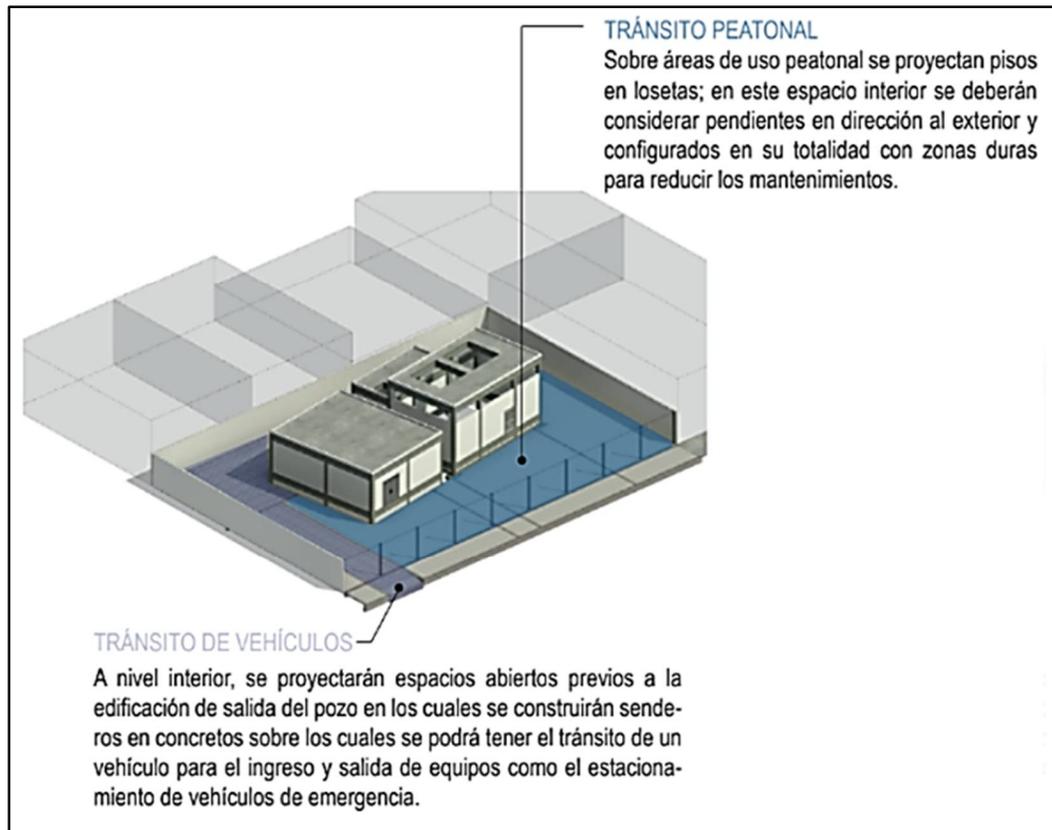


Figura 170. Tránsitos interiores del proyecto y consideraciones
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.11.2. Manejo de áreas remanentes

En aquellos casos donde se generan culatas debido a la afectación por predios adquiridos para la construcción de estaciones se contempla implementar la apertura de fachadas sobre tales culatas para habilitar usos comerciales y/o desarrollo inmobiliario, de tal forma que se minimice el impacto social en términos de seguridad ciudadana.

Los criterios para el manejo de las culatas y de las áreas remanentes serán los contemplados en el Decreto 555 de 2021, destacando los siguientes:

- Apertura y acceso de las fachadas cerradas y culatas colindantes con el espacio público peatonal y para el encuentro, para reducir los focos de inseguridad y favorecer la relación visual interior- exterior, o en su defecto, tratamiento de las mismas con acabados para permitir su articulación con el entorno.
- Garantía de que todos los frentes de las edificaciones localizadas contiguas a estas áreas (APAUP) propicien relaciones directas y de continuidad visual entre el espacio público y privado, fachadas transparentes que garanticen la vigilancia natural y accesos peatonales para la articulación con los usos del primer piso.

- Promoción de expresiones artísticas de carácter temporal, permanente y regular.
- Recuperación de espacios residuales y vacíos mediante una intervención integral que vincule a la comunidad, incrementando la apropiación de estos espacios para disminuir la sensación de abandono e inseguridad asociadas a los mismos.

Adicionalmente, se establecen los siguientes criterios específicos en cuanto al manejo de tratamiento de culatas y áreas remanentes:

- En los casos donde el área de afectación predial sea superior al área de la edificación de accesos a las estaciones (módulos de acceso), el área resultante será destinada a usos comerciales y/o desarrollo inmobiliario o áreas fiscales para la posible inserción de equipamiento urbano.
- En los casos que la inserción de los módulos de acceso a las estaciones se realicen en predios esquineros, se propenderá por manejar las fachadas posteriores mediante la incorporación de actividades socioeconómicas y culturales.
- Se realizarán acercamientos con la comunidad para vincular a los propietarios de los predios aledaños no afectados, con las afectaciones prediales requeridas por el proyecto.

3.2.11.3. Mobiliario urbano

La implementación del mobiliario urbano se hará a partir de las recomendaciones de la cartilla de andenes y la cartilla “*Lineamientos de Espacio público para la Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea de Metro de Bogotá*” elaborada por la Secretaría Distrital de Planeación, con los siguientes criterios:

- **Imagen e Identidad:** La imagen urbana es el conjunto de elementos naturales y construidos que conforman el marco visual de una ciudad, sirviendo para definirla y caracterizarla. En ese sentido, el mobiliario urbano de la L2MB será uno de los elementos construidos que otorgan caracterización visual e identidad al corredor. Por lo tanto, se proponen elementos particulares provenientes de la cartilla de mobiliario de la SDP y que se adoptan según su ubicación y utilización.
- **Unidad espacial:** El mobiliario urbano propuesto para la L2MB se desarrollará de manera homogénea en las áreas de intervención en superficie de las estaciones. Se incluirán las mismas especificaciones de materiales en bancas, canecas y demás elementos, lo cual permitirá un diseño unificado y articulado en las áreas de intervención en superficie alrededor de las estaciones .
- **Confort funcional:** El mobiliario urbano para la L2MB será ergonómico, funcional y práctico. Su función será realizada con la menor cantidad de elementos posibles y con decoraciones útiles. De esta manera, se optimizarán los recursos presupuestales.
- **Durabilidad y practicidad:** Los sistemas constructivos, materiales y especificaciones técnicas de los elementos que conforman el mobiliario urbano garantizarán su duración en el tiempo, su resistencia ante el vandalismo, su practicidad a la hora de la limpieza y su mantenimiento.
- **Sostenibilidad:** Los procesos constructivos, materiales y durabilidad de los elementos que conforman el mobiliario urbano de la L2MB serán responsables con el ecosistema y causarán el menor impacto posible en su implementación.



En la Figura 171 se ilustran algunos ítems de mobiliario urbano previsto.

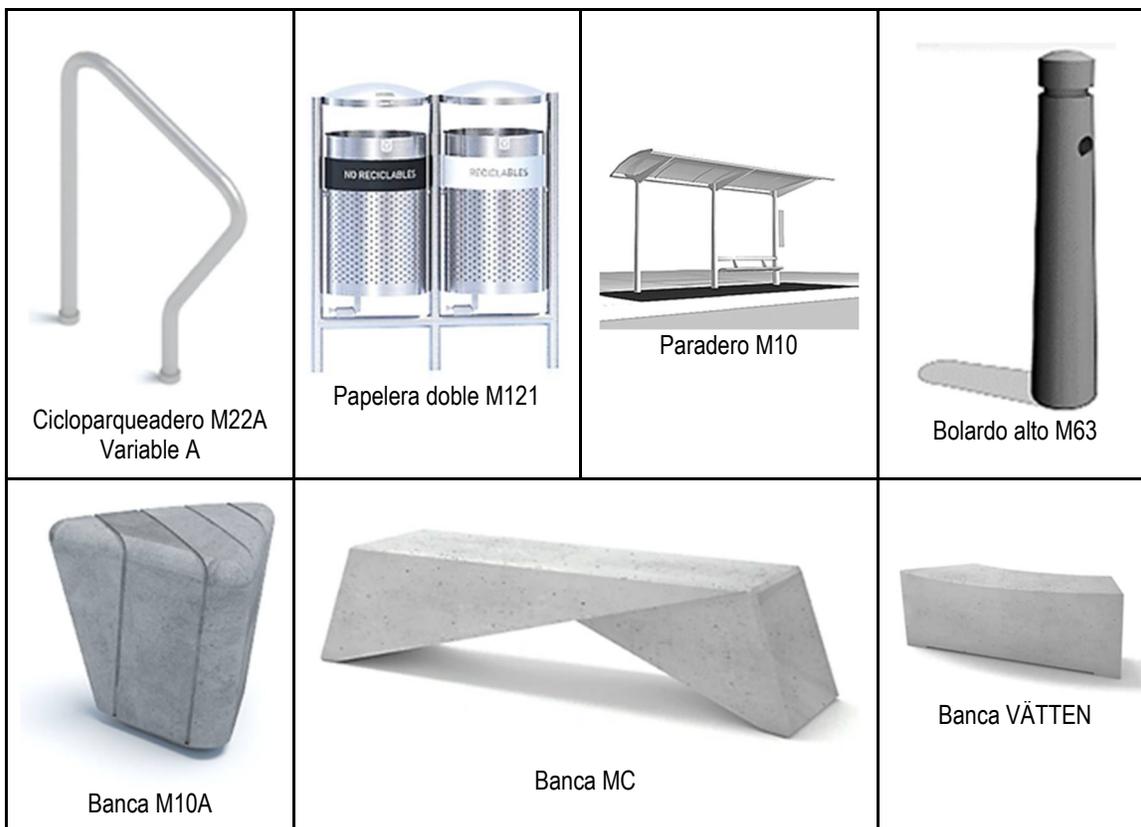


Figura 171. Items de mobiliario urbano Propuesta Conceptual
Fuente: Tomada y adaptada de la SDP Cartilla de mobiliario urbano. 2007

3.2.11.4. Espacio público

❖ Franjas funcionales de la red vial

Las intervenciones proyectadas serán de dos tipos: 1) de mejoramiento del espacio público y 2) de reconfiguración de tipo de calle.

Se proyectarán intervenciones de mejoramiento del espacio público cuando se requiera continuar con el funcionamiento actual del perfil vial, manteniendo los actuales bordes de vía y mejorando las condiciones particulares de los actores viales no motorizados (peatones y bicisuarios), dotándolos de características que permitan cumplir con los principios de la accesibilidad universal.

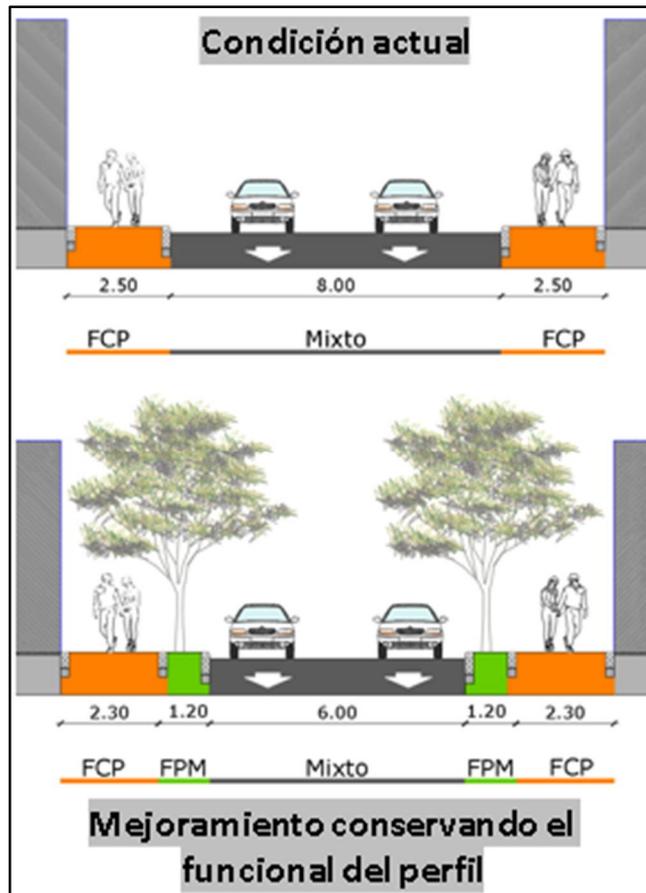


Figura 172. Ejemplo de Intervención de mejoramiento en sección transversal
Fuente: UT MOVIUS 2022

Se proyectará una reconfiguración de tipo de calle cuando el diagnóstico concluya que al tramo por intervenir le favorece cambiar su funcionamiento, ya sea porque esto permite potenciar la intermodalidad o por la cercanía de equipamientos que generan grandes volúmenes peatonales. La reconfiguración de tipo de calle se manifestará en la disminución del ancho útil de alguna franja funcional favoreciendo el ancho útil de otras franjas funcionales, o simplemente en la implantación de nuevas franjas funcionales, como la inclusión de las franjas ciclo-infraestructura o de paisajismo y calidad. Ejemplos de reconfiguración de tipo de calle son la peatonalización o la pacificación del tránsito vehicular de un tramo en particular, la reducción de carriles vehiculares para el favorecimiento de la franja de circulación peatonal, o la incorporación de franjas de ciclo-infraestructura o de paisajismo y calidad.

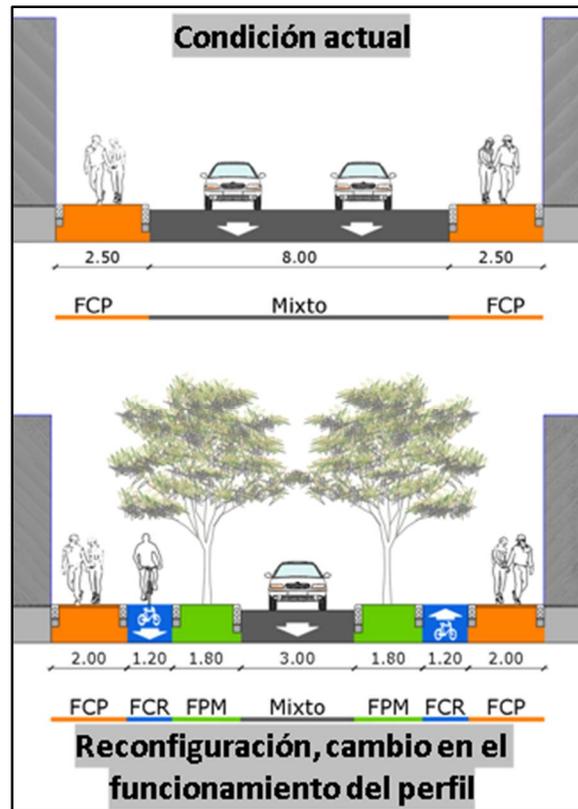


Figura 173. Ejemplo de Reconfiguración de tipo de calle en sección transversal
Fuente: UT MOVIUS 2022

❖ **Franja de circulación peatonal**

Las franjas de circulación peatonal se intervendrán dentro de los límites de diseño proyectados por estación bajo los criterios y características de los dos tipos de intervención (mejoramiento o de reconfiguración del perfil). Se proyectan en los siguientes materiales:

- Loseta Panot Color Gris y Ocre de 200 x 200.
- Loseta Prefabricada en Concreto Tactil Guia 400 X 400 Ref. A-56.
- Loseta Prefabricada en Concreto Alerta 400 X 400 Ref. A-55.
- Adoquín rectangular 200x100 color amarillo Ref: A25.

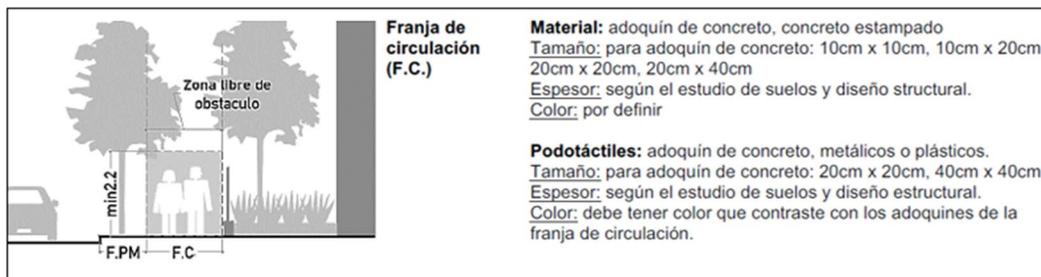




Figura 174. Criterios de diseño Franja de Circulación Peatonal

Fuente: SDP. Lineamientos de diseño del espacio público para el proyecto de Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá. (2017)

❖ Franja de ciclo-infraestructura

Se proyectarán nuevas ciclorrutas siempre y cuando conecten con la ciclo-infraestructura existente. Cuando la ciclorruta se ubica a nivel de andén se construirá en asfalto poroso. Cuando se localiza a nivel de calzada se integrará a la carpeta asfáltica de la misma.



Figura 175. Criterios de diseño Franja de Ciclorruta

Fuente: SDP. Lineamientos de diseño del espacio público para el proyecto de Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá. (2017)

❖ Franja de paisajismo y calidad

Se proyectarán franjas de paisajismo en los dos tipos de intervención, de mejoramiento y de reconfiguración de tipo de calle, siempre y cuando el ancho de la sección por intervenir cumpla con los anchos mínimos funcionales y normativos para la circulación peatonal. Sobre esta franja se instalarán individuos arbóreos y mobiliario urbano de los siguientes tipos:

- Cubresuelos (Suelda Con Suelda, Hiedra Miami).
- Caucho Reciclado Poroso "In Situ".



Figura 176. Criterios de diseño Franja de Paisajismo

Fuente: SDP. Lineamientos de diseño del espacio público para el proyecto de Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá. (2017)

❖ Pacificación de vías

En ciertas vías afectadas por la construcción de las estaciones se llevarán a cabo intervenciones enfocadas a calmar o pacificar el tránsito, siendo ésta una herramienta de gestión de la seguridad vial. Mediante el uso y combinación de distintos

tipos de dispositivos de señalización, y con la modificación de la rasante y geometría de las vías, se pretende reducir la velocidad de vehículos automotores y brindar una mejora del entorno urbano, generando una operación segura para los diferentes actores viales, especialmente para los más vulnerables (peatones y ciclistas), disminuyendo su exposición al riesgo y la gravedad de los accidentes.

La pacificación de las vías tendrá las siguientes características:

- En las elevaciones de calzada se emplearán diferentes materiales y texturas para diferenciar y advertir el cruce peatonal.
- No se utilizarán pinturas o materiales deslizantes sobre la superficie destinada al tránsito de peatones.
- Dependiendo de la velocidad de circulación que se desee para los vehículos, las rampas de acceso a la parte elevada podrán tener diferentes pendientes. Sin embargo, es recomendable nivelarlas con la altura del bordillo.
- Se instalará señalización respecto al límite de velocidad vehicular máximo permitido y al cruce de peatones y/o de ciclistas.

❖ Manejo integral de esquinas

El diseño de las esquinas estará representado en dos categorías:

- En la categoría 1 se encuentran las esquinas que requieren rampas para salvar los desniveles existentes entre el andén y la calzada vehicular garantizando la continuidad de la circulación peatonal y de biciusuarios sobre el cruce de calzada.
- En la categoría 2 se encuentran los cruces peatonales y de biciusuario que se realizan por medio de la construcción de un elemento sobre la calzada vehicular para generar un paso continuo y seguro a nivel del peatón, en el que los vehículos deben disminuir la velocidad y ceder el paso, dando prevalencia al tránsito peatonal, al de modos de transporte no motorizado y, especialmente, al paso seguro y autónomo de las personas en condición de movilidad reducida. (Secretaría Distrital de Planeación, Cartilla de andenes Bogotá D.C., 2018, p. 63)

❖ Manejo de esquinas con vados

La necesidad de tránsito seguro entre el nivel de andén y el nivel de calzada vehicular se resolverá mediante vados peatonales. Los vados permitirán garantizar circulación libre a todas las personas, principalmente aquellas en condición de movilidad reducida permanente o temporal, mediante superficies inclinadas a manera de rampas con resistencia suficiente al deslizamiento en ambientes secos y húmedos.

Se identifican las siguientes tipologías de vados para las áreas de intervención en superficie:

➤ Tipologías de esquinas con vados 1 (TEV 1)

Este tipo de esquinas aplica en intersecciones que por sus condiciones de espacio requiere el uso de rampas para permitir el tránsito para biciusuarios y peatones. Teniendo en cuenta que la esquina queda a nivel de la vía, se implementan bolardos distanciados de tal manera que permitan la correcta accesibilidad y a su vez protejan al peatón.

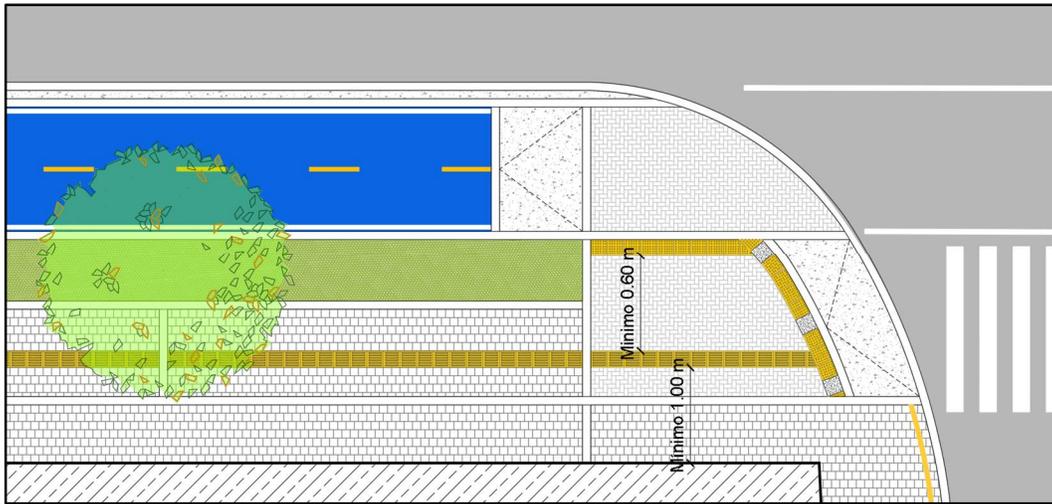


Figura 177. Tipologías de esquinas con vados 1 (TEV1)
Fuente: UT MOVIUS 2022

➤ Tipologías de esquinas con vados 2 (TEV 2)

Este tipo de esquinas aplica en intersecciones que por sus condiciones de espacio requiere el uso de rampas para permitir el tránsito para ciclistas y peatones. En este tipo de esquinas se implementan bolardos para proteger al peatón.

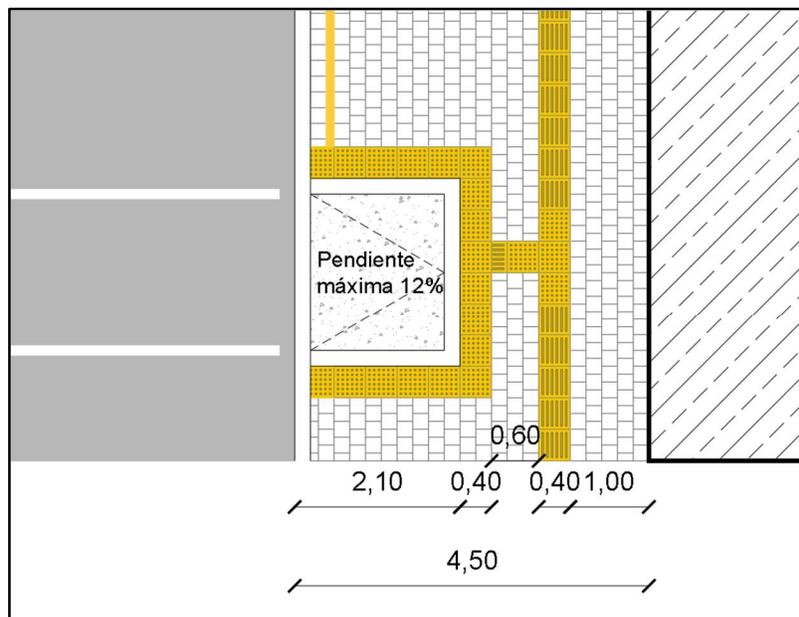


Figura 178. Tipologías de esquinas con vados 2 (TEV2)
Fuente: UT MOVIUS 2022

➤ Tipologías de esquinas con vados 3 (TEV 3)

Este tipo de esquinas aplica en intersecciones en que por sus condiciones de espacio no es posible emplear el uso de rampas tipo 1 y 2 para permitir el tránsito para bicicusuarios y/o peatones. Teniendo en cuenta que la esquina queda a nivel de la vía, se implementan bolardos distanciados de tal manera que permitan la correcta accesibilidad y a su vez protejan al peatón.

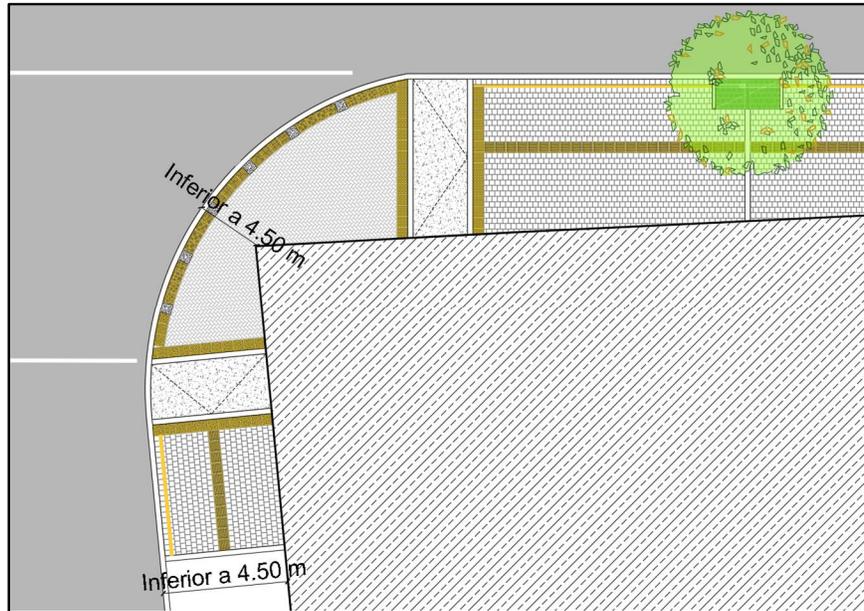


Figura 179. Tipologías de esquinas con vados 3 (TEV3)
Fuente: UT MOVIOUS 2022

❖ **Cruce transversal peatonal semaforizado con refugio sobre separador central (CTPR)**

Se dispondrán isletas en las áreas de cruce de los pasos peatonales con los separadores de calzadas vehiculares, conectadas con los vados por medio de las zonas demarcadas en calzada (cebras).

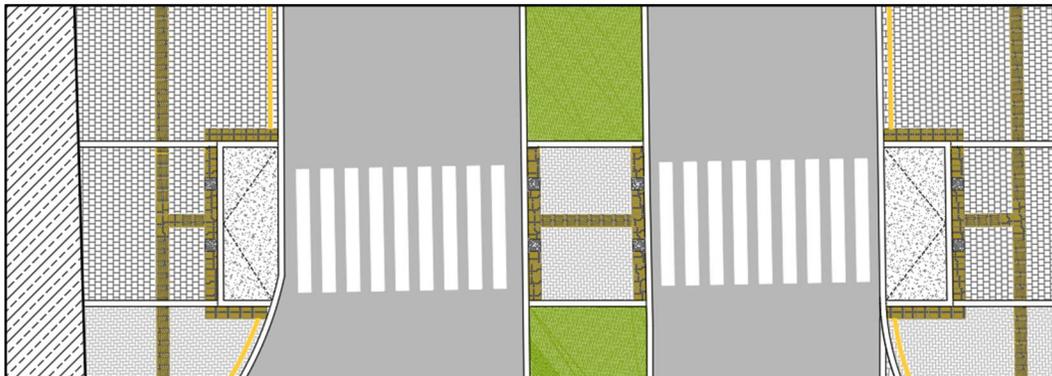


Figura 180. Cruce transversal peatonal semaforizado con refugio sobre separador central (CTPR)
Fuente: UT MOVIOUS 2022

❖ **Manejo de esquinas de pompeyanos**

En este tipo de esquina se prioriza la movilidad del peatón. Así mismo, teniendo en cuenta que el andén y el vehículo quedan al mismo nivel, se implementan bolardos distanciados de tal manera que permitan la correcta accesibilidad y a su vez protejan al peatón.

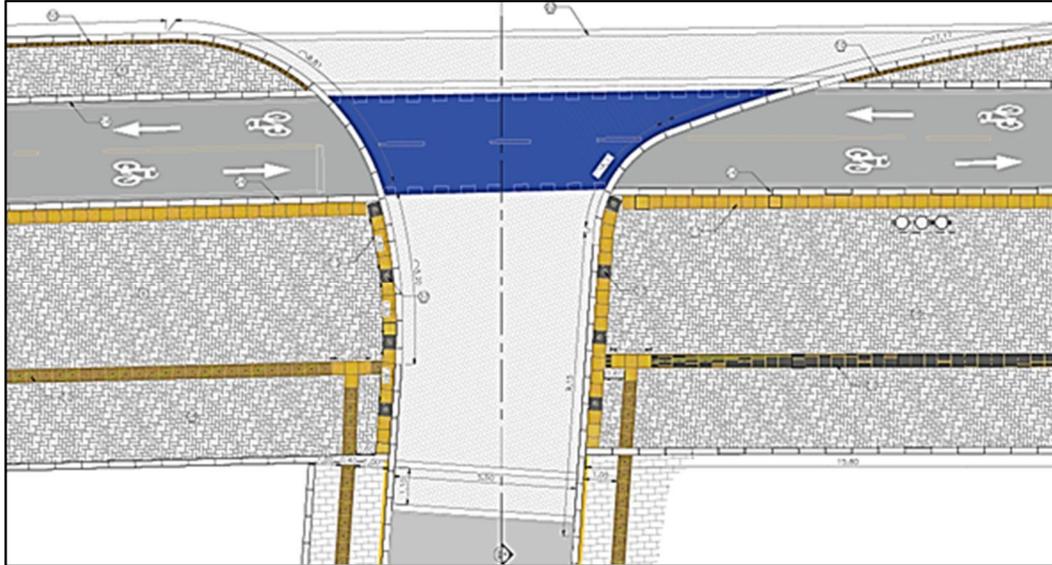


Figura 181. Manejo de esquinas con cruce pompeyano
Fuente: UT MOVIOUS 2022

❖ Pasos peatonales semaforizados

El paso peatonal a nivel de calzada será delimitado con dispositivos, elementos y demarcación vial para favorecer la continuidad del itinerario peatonal y contribuir a que prime la circulación de los modos de transporte no motorizado sobre los motorizados.

Se han previsto pasos peatonales semaforizados para los ingresos a las Estaciones 9, 10 y 11, así:



Figura 182. Pasos peatonales semaforizados Estación 9
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 183. Pasos peatonales semaforizados Estación 10
Fuente: UT MOVIUS 2022

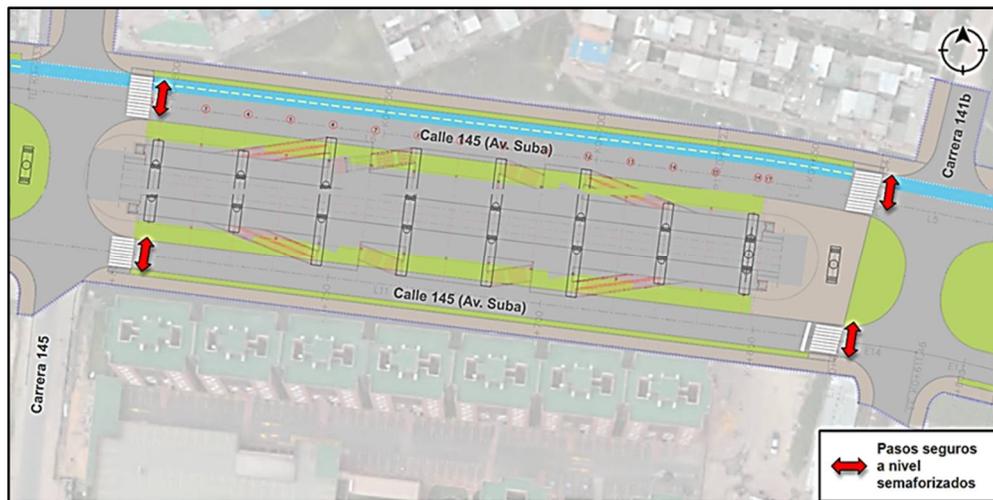


Figura 184. Pasos peatonales semaforizados Estación 11

Fuente: UT MOVIOUS 2022

❖ Pasos pompeyanos

Para el desarrollo de la propuesta de conectividad segura y funcional para los peatones y los biciusuarios, se hará uso de los pompeyanos en las intersecciones de la malla vial arterial con las vías de la malla vial local no semaforizadas. Para ese propósito, se tomaron las dimensiones y especificaciones recomendadas en la cartilla diseñada por la Secretaría Distrital de Planeación. Se incluyeron pompeyanos en los sitios donde se evidenció la necesidad de cruce peatonal sin contar con cruce semafórico. Los materiales para los pompeyanos se proponen en materiales visibles y con pendientes aptas que permitan el desarrollo del espacio público inclusivo para personas en situación de discapacidad.

La geometría y funcionalidad de los pompeyanos se muestran en la Figura 185 y la Figura 186.

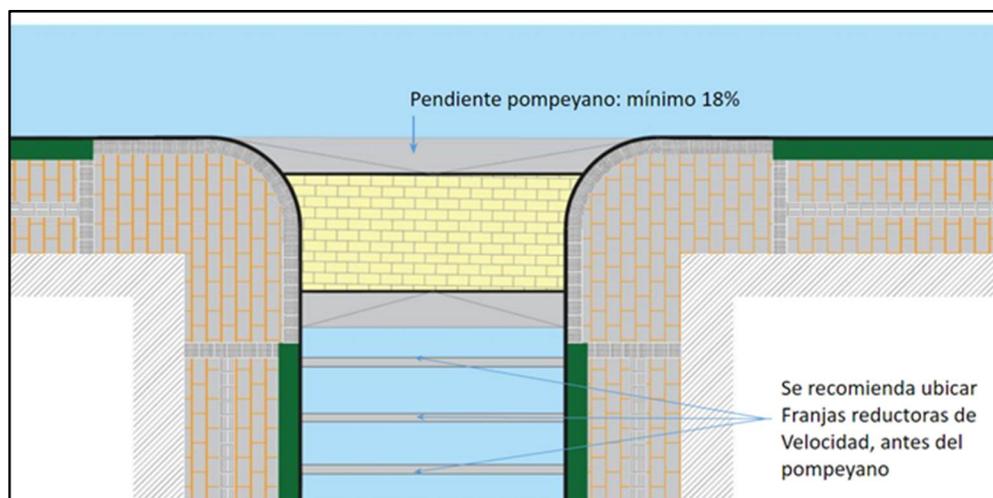


Figura 185. Pasos pompeyanos

Fuente: IDU. DISEÑO DE ESPACIO PÚBLICO con Garantías de Accesibilidad. 2018

Para la ubicación de pompeyanos se tiene como prioridad la movilidad peatonal y de bici usuarios de forma segura y continua. Su disposición se representa en la siguiente figura:

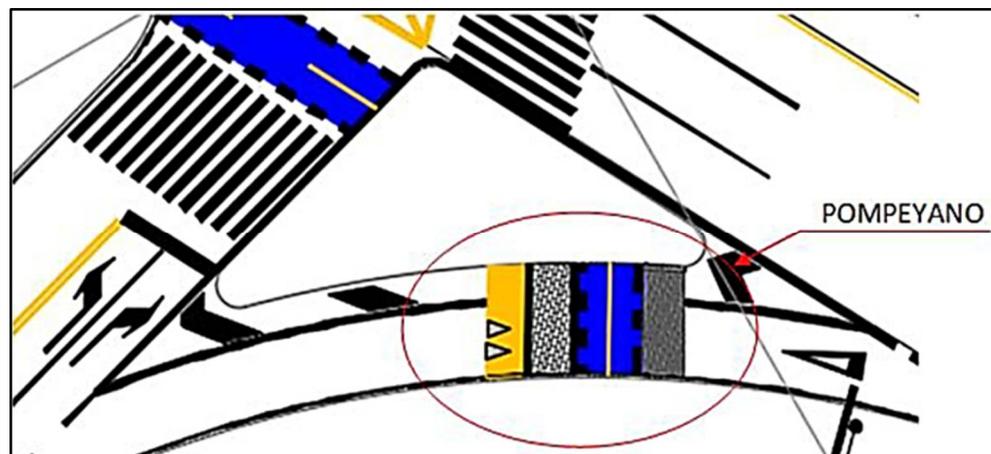


Figura 186. Disposición de los pompeyanos

Fuente: UT MOVIOUS 2022

❖ Refugios peatonales

Los refugios peatonales serán áreas de cruce para los peatones en los separadores de calzadas vehiculares, conectadas con los vados de los andenes por medio de zonas en calzada demarcadas.

En la Figura 187 se muestran los aspectos que caracterizan los refugios peatonales.

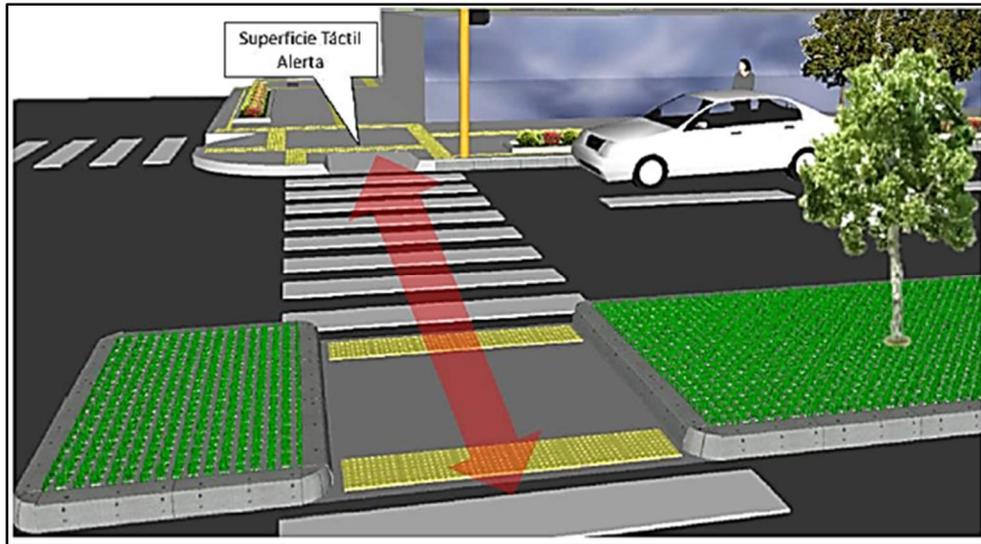


Figura 187. Refugio peatonal
Fuente: SDP. Cartilla de andenes Bogotá D.C. 2018

❖ Accesos a predios

Se identifican las siguientes tipologías de acceso a predios para las áreas de intervención en superficie:

➤ Tipología de acceso vehicular al predio 1 (TAVP1)

Esta tipología corresponde al acceso vehicular al predio desde una vía pacificada (Figura 188).

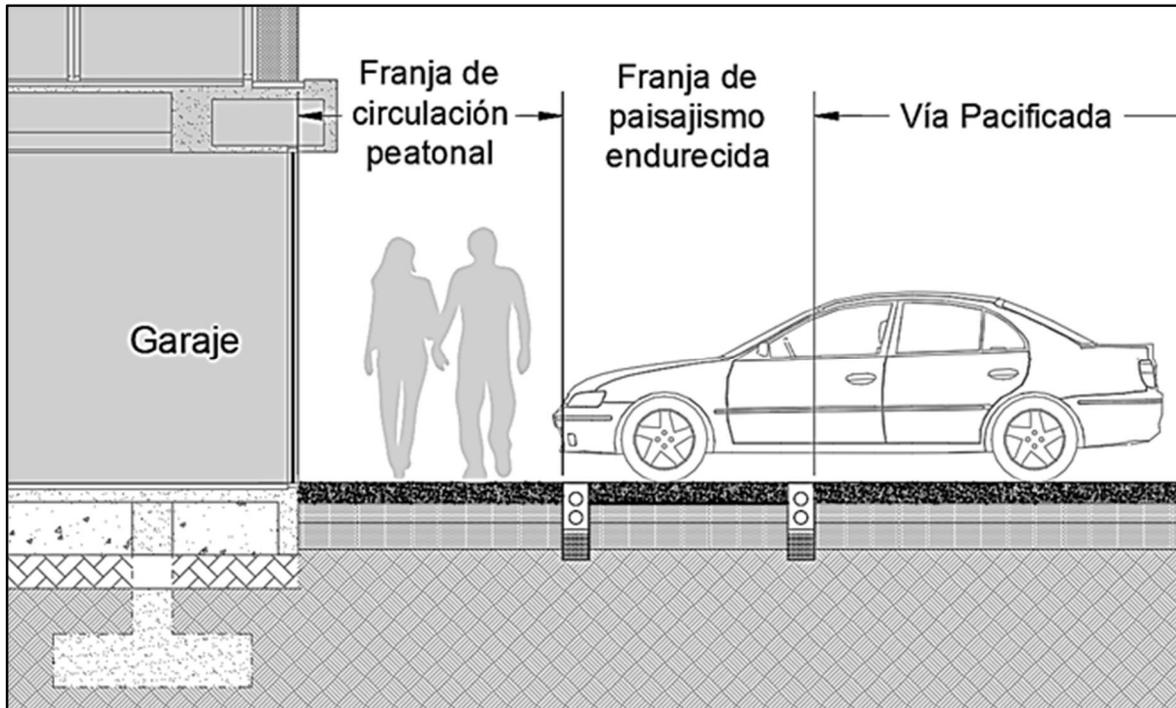


Figura 188. Tipología de acceso vehicular TAVP1
Fuente: UT MOVIOUS 2022

➤ Tipología de acceso vehicular al predio 2 (TAVP2)

Esta tipología corresponde al acceso vehicular al predio desde una vía segregada respecto al nivel de las franjas de circulación peatonal y de paisajismo y mobiliario (Figura 189).

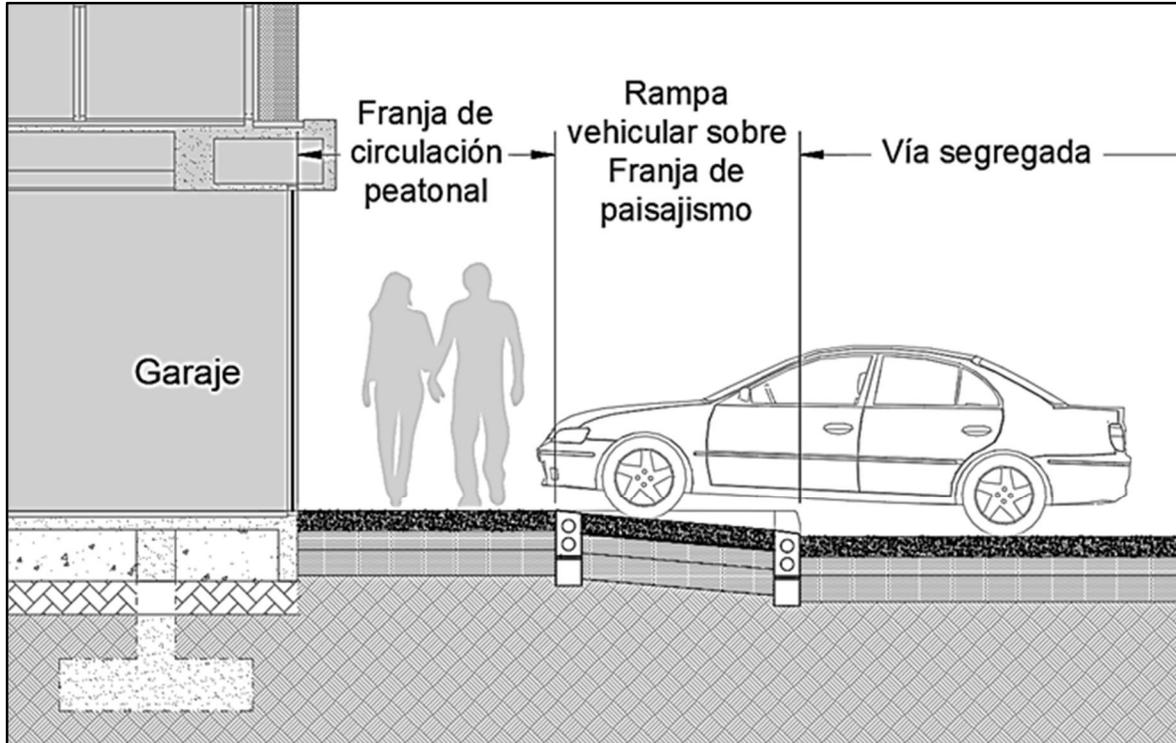


Figura 189. Tipología de acceso vehicular TAVP2
Fuente: UT MOVIUS 2022

❖ **Manejo de antejardines**

El antejardín corresponde al área libre de propiedad privada, perteneciente al espacio público, comprendida entre la línea de demarcación de la vía y el paramento de construcción, en la cual no se admite ningún tipo de edificación. La intervención de antejardines se realizará de acuerdo con una de las dos tipologías de afectación descritas a continuación.

➤ **Afectación parcial del antejardín**

Aplica cuando se requiere parcialmente afectar áreas de antejardines producto de las intervenciones en superficie, como se ilustra en el siguiente ejemplo:

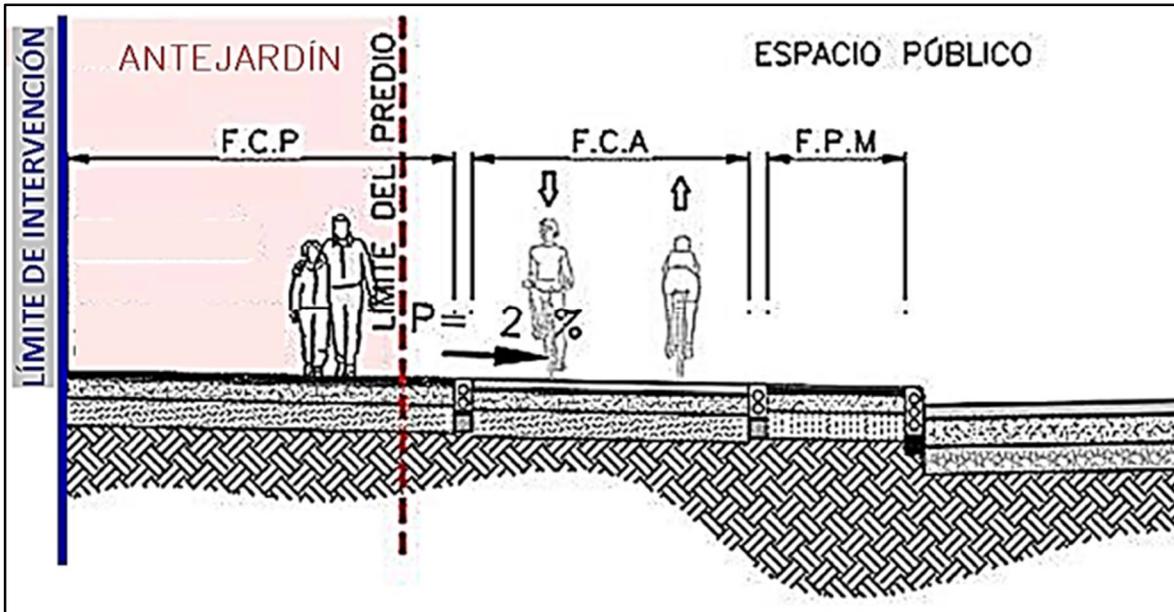


Figura 190. Ejemplo de afectación parcial de antejardín
Fuente: UT MOVIUS 2022

➤ Afectación total del antejardín

Aplica cuando se requiera la totalidad de las áreas de antejardines producto de las intervenciones en superficie, como se ilustra en el siguiente ejemplo:

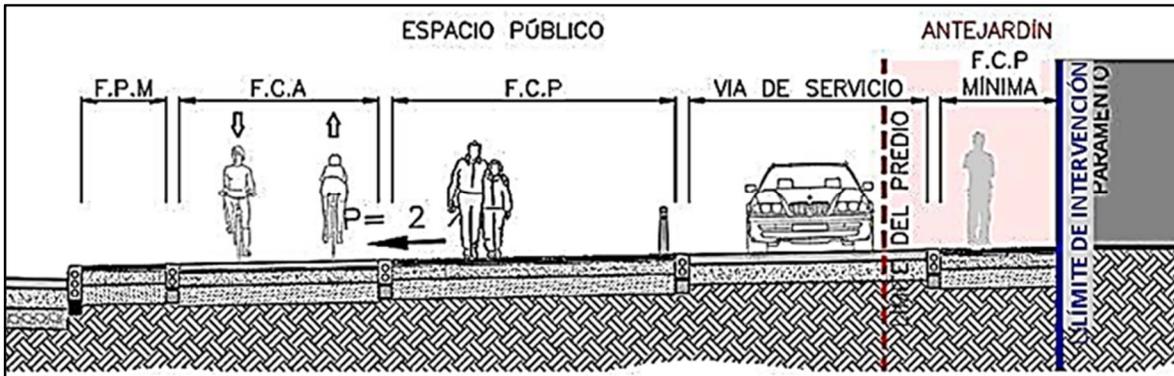


Figura 191. Ejemplo de afectación total de antejardín
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.11.5. Diseño paisajístico

Las especies arbóreas propuestas para la L2MB fueron determinadas en función de su integración con variables tales como la humedad relativa, emplazamiento, características deseables de cada especie, procedencia, porte y funciones ambientales aptas para el arbolado urbano del proyecto y del sector.

❖ Andenes

El diseño del paisaje sobre los andenes se realizará por medio de agrupaciones vegetales de individuos arbóreos y coberturas vegetales, principalmente sobre la franja paisajística y resiliencia determinada en el Decreto 555 de 2021 (Tabla 56). Así mismo, la cartilla de andenes de Bogotá, adoptada mediante Decreto Distrital 308 de 2018, indica la distribución de cada una de las franjas funcionales de los andenes (Figura 192).

Tabla 56. Perfiles viales - Tipo de calles (Dimensiones)

RANGOS DE REFERENCIA POR TIPO DE CALLE (Medidas en metros)							
PERFIL COMPLETO			FRANJAS FUNCIONALES ANCHOS MÍNIMOS				
TIPO DE CALLE	ANCHO MÍNIMO	ANCHO MÁXIMO	CIRCULACION PEATONAL	CICLOINFRA ESTRUCTURA	TRANSPORTE PÚBLICO	FRANJA VEHICULAR	PAISAJISMO Y CALIDAD
A-0	90	>100	13	8	28	13	23
A-1	54	66	7	6	17	10	13
A-2	36	44	6	3	7	7	11
A-3	27	34	6	3	7	3	8
A-3E	22	27	6	3	6	3	4
I-4	22	<27	5	3	0	6	8
I-5	18	<22	5	1,7	0	3	6
I-6	16	<18	6	1,7	0	3	3
L-7	13	<16	4	1,7	0	3	3
L-8	10	<13	4	0	0	3	2
L-9	7	<10	4	0	0	0	3
L-10	4	6	4	0	0	0	0

Fuente: Artículo 155, Decreto 555 de 2021, Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. (2021)

La franja de paisajismo y resiliencia urbana, aparte del componente ambiental (arbolado urbano y cubresuelos), también está compuesta por otros elementos de mobiliario urbano representado en luminarias, señales verticales de tránsito, bancas, canecas, contenedores de raíces e hidrantes, entre otros. De igual forma, la franja de paisajismo y resiliencia también cumple la función de ser un elemento segregador entre los sistemas de transporte de motorizados y de bicisuarios, y el peatón como actor principal y usuario de la red de andenes de la ciudad.

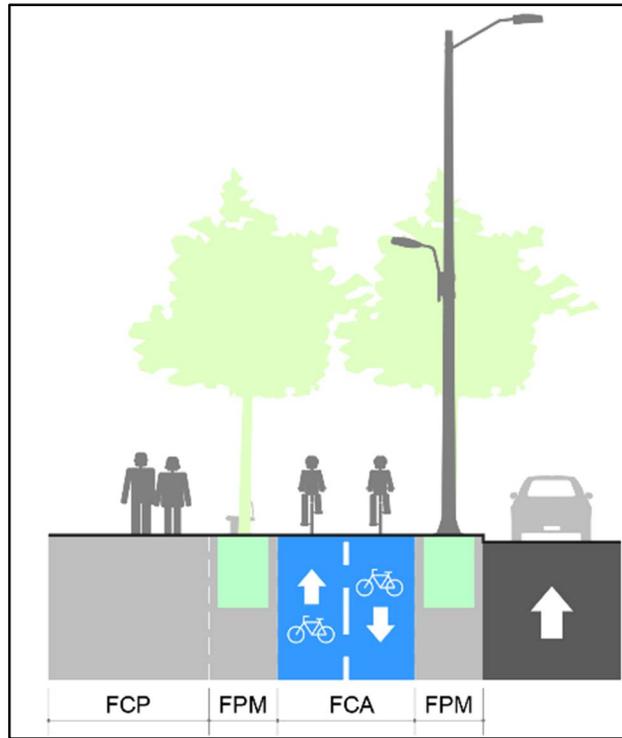


Figura 192. Perfil de andén con ancho mayor a 5 m - Franjas de paisajismo y resiliencia.
Fuente: Cartilla de andenes de Bogotá D.C.

Los criterios para implantar las disposiciones arbóreas y de coberturas vegetales en los andenes fueron los siguientes:

- La arborización es obligatoria para los andenes de ancho igual o mayor a 3,50 m, según lo dispuesto en la Cartilla de Andenes de Bogotá, Decreto Distrital 308 de 2018.
- Los individuos arbóreos que se ubican en la franja de paisajismo contigua a la calzada deberán ser árboles de medio y alto porte, de preferencia mono fustales, debido a que los diseños podrían contemplar la incorporación de alcorques inundables (SUDS). En consecuencia, se requiere de este tipo de portes para evitar interferencias con los distintos usuarios, principalmente los motorizados y los bicisuarios, correspondiendo a las políticas distritales de “Visión Cero”⁴.

⁴ La Visión Cero es una iniciativa que le da un enfoque ético a la seguridad vial y tiene como ideal reducir a cero el número de víctimas fatales o heridos graves de siniestros viales.

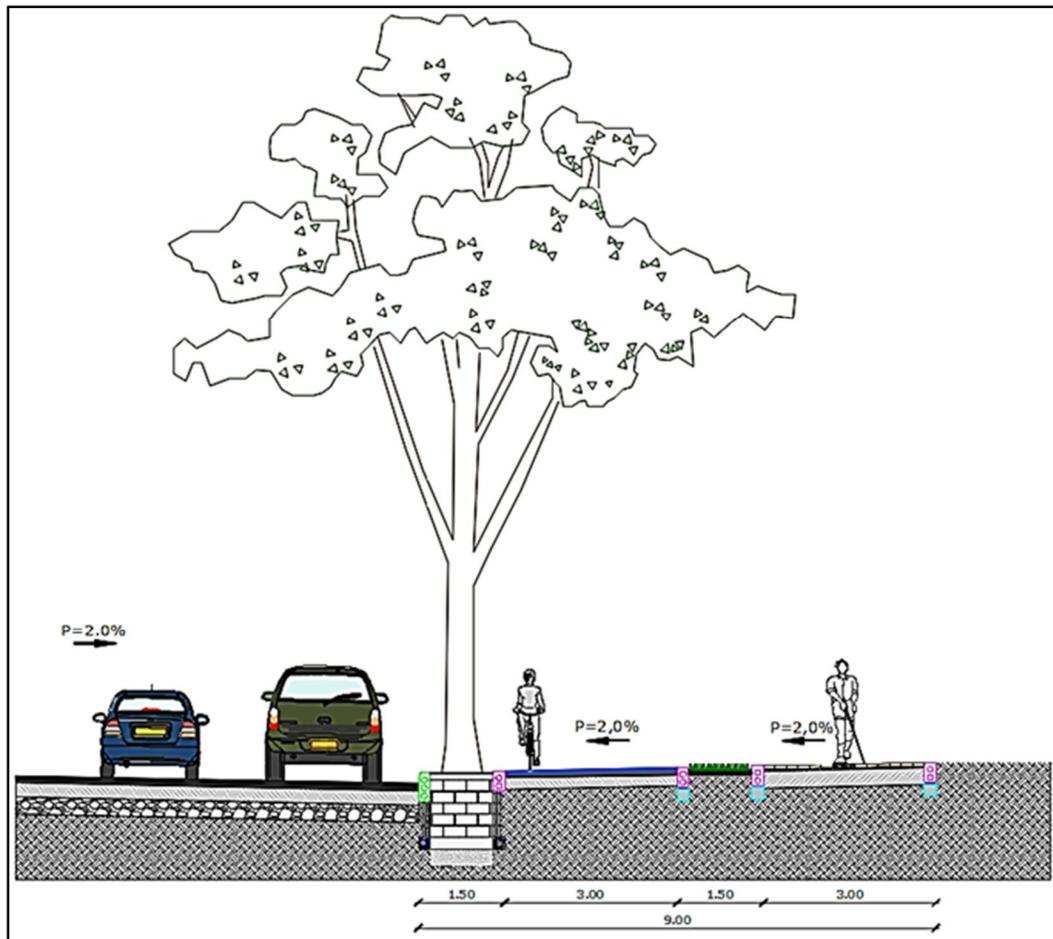


Figura 193. Propuesta de paisajismo y luminarias - Sección
Fuente: UT MOVIUS 2022

- La interdistancia entre elementos arbóreos de medio y alto porte con la red de iluminación pública no debe ser menor de 8 m. Sin embargo, entre estos elementos se establecen interdistancias de 10 m con el objeto de introducir posteriormente ajustes en su ubicación, o incorporar otros elementos de mobiliario.

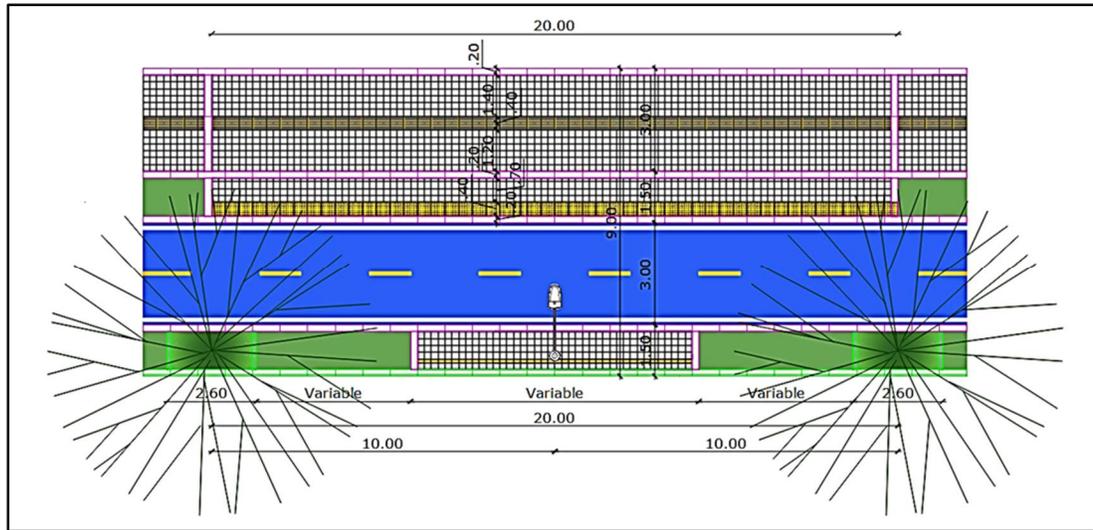


Figura 194. Propuesta de paisajismo y luminarias - Planta
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Las coberturas vegetales en la franja contigua a la calzada no deberá superar 1 metro de altura, para permitir la visual entre calzada y andenes, así como la iluminación pública en zonas de penumbra que afecten la seguridad social del corredor. Estas especificaciones también se aplican a los SUDS.
- Se debe mantener una distancia de separación entre el arbolado urbano en cualquiera de las franjas de paisajismo y resiliencia y las rampas vehiculares de acceso a predios de no menos de 5 m, con el fin de corresponder con la política de “Visión Cero” por parte del Distrito.

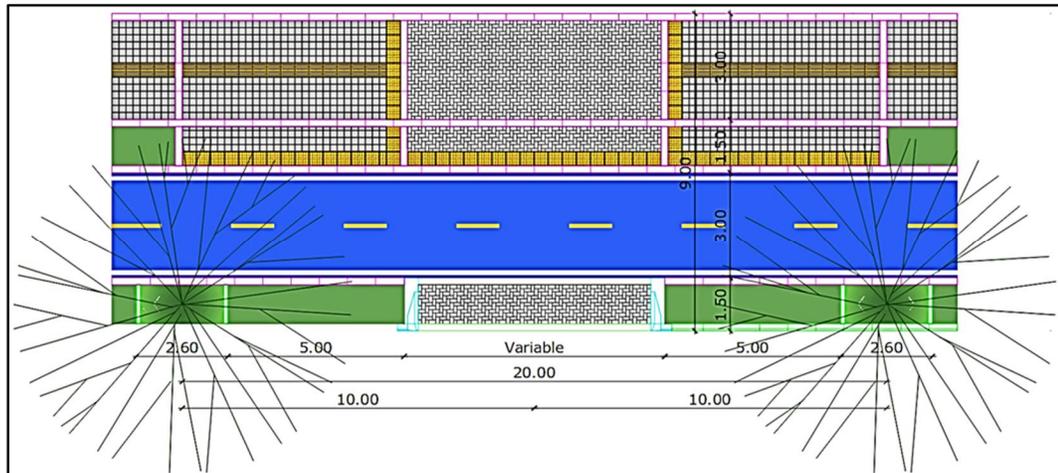


Figura 195. Propuesta Paisajismo y Rampas vehiculares de acceso a predios - Planta
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Las franjas de paisajismo tendrán zonas endurecidas debido al uso del suelo, especialmente en las áreas comerciales, en aras de evitar deterioros y sobrecostos en los mantenimientos de las mencionadas franjas, que por motivos de carga y descarga de mercancías se vean afectadas por esta actividad. Así mismo, sobre la segunda franja de paisajismo y resiliencia se dispone de un paso

endurecido con el mismo fin, e igualmente para permitir la incorporación de los bici usuarios a los predios por puntos medios, puesto que si se implanta una franja continua a lo largo de la manzana, los biciusuarios podrían invadir la franja de circulación peatonal.

- La segunda franja de paisajismo (entre la franja de circulación peatonal y la franja de ciclo ruta) estará provista de coberturas vegetales tales como pastos, hiedras, herbáceas y/o gramíneas, con alturas no superiores a 1 m, por los motivos ya descritos de seguridad vial y, adicionalmente, para segregar la ciclo ruta con la franja de circulación peatonal.
- Las franjas de paisajismo en aproximación a esquinas que tengan paso peatonal y de biciusuarios a nivel no tendrán arborización de ningún tipo en 20 m del paso peatonal, por efectos de la reglamentación sugerida del manual de señalización. No obstante, se propone la utilización de coberturas vegetales a lo largo de esta distancia, con el fin de evitar pasos de biciusuarios y peatones en lugares no permitidos, señalizados o inseguros.
- En esquinas se ubicará el arbolado urbano propuesto a no menos de 10 m del radio de giro, o no se ubicará arbolado urbano a no menos de 10 m de la esquina más próxima, como se indica en la Cartilla de Andenes de Bogotá, Decreto 308 de 2018.

❖ Separadores

El diseño paisajístico de los separadores se compone de los distintos materiales vegetales, tales como especies arbóreas y coberturas vegetales de cualquier porte, dando como resultado separadores totalmente permeables y vegetados que minimicen las islas de calor sobre los corredores viales de la ciudad.

Estas agrupaciones tienen los siguientes criterios de inserción:

- La disposición del arbolado de cualquier porte debe estar retirado 8 m como mínimo de otros elementos de la infraestructura vial de la ciudad, como puentes peatonales, subestaciones y luminarias.
- La disposición del arbolado de cualquier porte debe estar retirado 20 m como mínimo al fin o al inicio sobre los separadores, permitiendo una visual total sobre el ancho de la vía, principalmente sobre pasos peatonales a nivel de forma transversal al eje de la vía.
- Cuando no se disponga de iluminación entre los individuos arbóreos, la interdistancia para arbolado de bajo porte será de 8 m entre el eje de siembra.
- Cuando no se disponga de iluminación entre los individuos arbóreos, la interdistancia de arbolado urbano de mediano porte será de 10 m entre eje de siembra.
- Cuando no se disponga de iluminación entre los individuos arbóreos, la interdistancia de arbolado urbano de alto porte será de 15 m entre eje de siembra.
- Las coberturas vegetales o cubresuelos no tendrán alturas superiores a 1 m.
- Las coberturas vegetales o cubresuelos son complementarias al arbolado urbano, por lo cual se ubicarán a lo largo y ancho de los separadores con el fin de no incentivar los pasos peatonales por zonas no seguras.
- Los separadores con ancho mayor a 2,60 m podrán estar provistos de un andén de seguridad y adicionalmente de una estructura permeable elevada que impida los cruces por zonas no seguras.

❖ Plazoletas y zonas verdes

Las plazoletas y zonas verdes contiguas a la franja de circulación peatonal tendrán una configuración distinta a la presentada tanto para el separador como para andenes. Esta disposición del material vegetal estará determinada por el uso del suelo, permitiendo agrupaciones arbóreas de distintos portes y de coberturas vegetales.

- Los individuos arbóreos deben estar aislados de cualquier estructura a una distancia no inferior a 3 m del eje de siembra. Esta distancia está determinada para arbolado urbano de bajo y mediano porte. Para los árboles de alto porte deben estar aislados una distancia no menor de 5 m, con el fin de evitar interferencias de la copa con las estructuras.
- Las zonas verdes incluidas en los parques, plazoletas y demás espacios abiertos, permiten que las copas se toquen o entrelacen según lo dispuesto en la Cartilla de Andenes de Bogotá.
- Los puntos de encuentro sobre espacio público serán en su mayoría espacios endurecidos y provistos de especies arbóreas que impidan las islas de calor y sean confortables para los usuarios que acceden a las estaciones y a los bicisuarios.

❖ Armonización con otros proyectos

La armonización paisajística con otros proyectos será fundamental en la dinámica urbano paisajística de la ciudad.

Los criterios para la armonización de la propuesta paisajística de la L2MB con otros proyectos en curso o finalizados, son los siguientes:

- La adaptación en cuanto a la morfología y fenología del material vegetal previsto en los proyectos que empalman, intersectan o bordean las estaciones de la L2MB.
- La espacialidad como representación de la escala y ritmo de los diseños paisajísticos, como elemento de incorporación de armonización con espacios existentes y proyectados.
- Las especies vegetales referenciadas en otros proyectos son pautas de diseño, en donde se prevé la incorporación de este mismo material vegetal o equivalente.
- Los proyectos de gran valor paisajístico, como los parques de humedal y ronda de río Bogotá, pertenecientes a la Estructura Ecológica Principal de la ciudad y tienen una armonización basada en lo proyectado, es decir, la armonización del proyecto de la L2MB se adapta a los lineamientos presentados en estos proyectos.
- En proyectos de parques o proyectos con zonas verdes, tales como parques zonales de bolsillo, vecinales, parques lineales de ronda hídrica y parques de humedal, entre otros, los diseños ya proyectados tendrán prelación, y la armonización estará determinada en la compensación de zonas verdes de estas áreas..
- En proyectos de infraestructura vial, tales como corredores ecológicos de vía, principalmente vías arterias, se armonizará con la propuesta de diseño del proyecto ya aprobado.
- No se harán armonizaciones con proyectos que no estén en etapa de inicio de estudios y diseños, o en factibilidad.

- Los proyectos que empalmen con la L2MB mediante plazas, plazoletas y/o alamedas se empalmarán de la misma forma, mediante áreas abiertas y zonas duras y permeables, según el caso.

❖ Propuesta de inserción arbórea

En cuanto a la identidad de la propuesta paisajística frente a las estaciones de la L2MB, se recomienda la inserción de especies arbóreas que permitan identificar tanto la proximidad a las estaciones como la estación en sí misma.

Es así como para las plazoletas y el espacio público adosado a las estaciones se propone la especie Liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*) la cual, a pesar de no ser una especie nativa, ha sido incorporada con éxito en otros proyectos de infraestructura vial de la ciudad, incluyendo las Troncales de Transmilenio Calle 80, Suba y Ciudad de Cali. Adicionalmente, posee características de plasticidad, funciones de regulación climática y atenuación de vectores de olor, viento y partículas en suspensión. Se considera que el color del follaje de esta especie dará una identidad paisajística particular a las estaciones de la L2MB.

Sobre el espacio público aledaño a las estaciones, como bocacalles de acceso y espacio público de proximidad, y particularmente sobre la franja de paisajismo y resiliencia, se propone la especie Guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata*), la cual es una especie nativa con características de desarrollo favorables en el entorno urbano y con funciones tales como regulación climática, atracción de fauna, rusticidad, longevidad, y aporte estético y cultural.

En las zonas verdes de las plazoletas de acceso y separadores se propone complementar los diseños paisajísticos con especies de mediano porte que aporten color y den valor estético al proyecto L2MB, proponiéndose las especies Chicalá (*Tecoma stans*) y Falso Pimiento (*Schinus molle*), ambas nativas, que poseen características de rusticidad, plasticidad y resistencia a la contaminación urbana. Adicionalmente, tienen funciones de captación de dióxido de carbono, regulación climática y atenuación de partículas, vientos y olores.

No obstante lo anterior, se aclara que la propuesta paisajística de identidad aquí planteada no es limitante para la concepción de los diseños paisajísticos a nivel de detalle que el constructor requiere adelantar en etapa posterior.

Para la inserción de las estaciones de la L2MB se estimaron las siguientes cantidades de arbolado urbano por estación, según las especies seleccionadas a partir de la metodología del Manual de Silvicultura Urbana para Bogotá.

Tabla 57. Arbolado urbano propuesto

Especies arbóreas	E1	E2	E3	E4	E5	E7	E8	E11
Liquidámbar	13	24	7	43	20	10	17	69
Roble	0	0	0	0	0	0	0	12
Falso pimiento	0	0	7	0	0	0	0	55
Chicalá	0	0	7	0	8	0	5	18
Guayacán de Manizales	15	7	14	3	0	8	0	0
TOTAL	28	31	35	46	28	18	22	154

Fuente: UT MOVIVUS 2022

Tabla 58. Total arbolado urbano propuesto L2MB

Especies arbóreas	Total
Liquidámbar	203
Roble	12
Falso pimientó	62
Chicalá	38
Guayacán de Manizales	47
TOTAL	362

Fuente: UT MOVIUS 2022

Como se aprecia, se estima un arbolado urbano compuesto por 362 individuos arbóreos, 45 en promedio por estación.

3.2.11.6. Ciclorutas y cicloparqueaderos

Los parqueaderos de bicicletas estarán posicionados en la superficie, adyacentes a los accesos a las estaciones. Para facilitar su operación y control se construirán en un espacio único. Serán modulares, de manera que puedan adaptarse a la demanda de cada estación, y a los espacios disponibles. Puesto que la demanda de biciparqueaderos se ampliará hasta el horizonte final de 2050, su construcción en módulos permitirá implementarlos progresivamente. Los biciparqueaderos serán edificios livianos y transparentes, y dispondrán de taller de mantenimiento.

Las 11 estaciones demandan un total de 21.000 posiciones, es decir que el número promedio de biciparqueaderos por estación será de 1.900. En la siguiente figura se aprecia su distribución a lo largo del trazado:

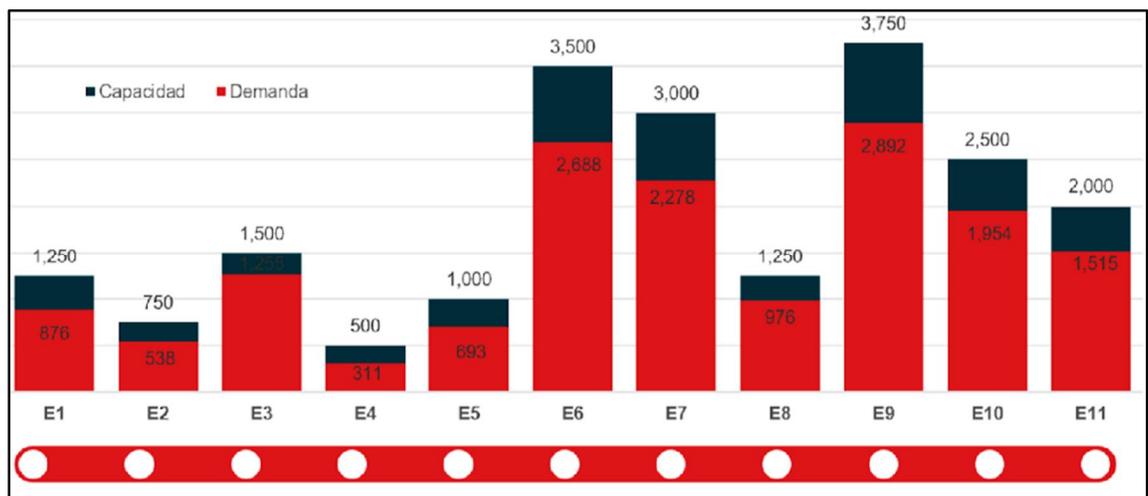


Figura 196. Número de biciparqueaderos en estaciones



Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12. Infraestructura vial asociada al proyecto

3.2.12.1. Descripción de vías alternas y desvíos locales

A continuación se describen las vías alternas y los desvíos locales del transporte particular y público previstos durante el proceso de construcción.

3.2.12.1.1. Transporte particular

Para garantizar la circulación vehicular en etapa de construcción se requiere la implementación de desvíos de vehículos particulares. Adicionalmente, para el tránsito particular es necesario establecer rutas alternas que disminuyan la circulación de vehículos como consecuencia de los desvíos programados para cada obra en las zonas de estación.

3.2.12.1.1.1. Estación 1

El plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 1 contempla tres etapas:

- Etapa 1

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 1 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2, para el cierre de la Carrera 20A desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A, se plantea generar un contraflujo en la Carrera 20B entre la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 59. Descripción de desvíos - Estación 1 - Etapa 2.

Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
		Desde	Hasta				[m]	[m ²]
2	Kr 20A	AC 72	CL 72A	Desvío	[Color azul]	Tomar al Occidente por CL 71A entre y Kr 19	100	265
						Tomar al Norte por Kr 19 entre y AC 72	90	

						Tomar al Norte por Kr 20B entre y CI 72A	75			
						Tomar al Oriente por CI 72A entre y Kr 20A	100			
						Desvío			Tomar al Norte por Kr 17 entre y AC 72	93
									Tomar al Occidente por AC72 entre y Kr 20B	97
						Vía Alternativa			Tomar al Occidente por CI 71A entre y Kr 20	103
									Tomar al Norte por Kr 20 entre y CI 72A	153

Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 197. Desvíos en Estación 1 - Etapa 2.

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En la Etapa 3, teniendo en cuenta el cierre de la Carrera 20B desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A, se plantea generar un contraflujo sobre la Carrera 20A entre la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 60. Descripción de desvíos - Estación 1 - Etapa 3.

Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud [m]	Adecuaciones Geométricas [m²]
		Desde	Hasta					

3	Kr 20B	AC 72	CL 72A	Desvío	[Blue Bar]	Tomar al Oriente por Cl 73 entre y Kr 20A	100	532
						Tomar al Sur por Kr 20A y Kr 17 entre y Cl 71A	223	
						Tomar al Occidente por Cl 71A entre y Kr 19	90	
				Desvío	[Green Bar]	Tomar al Oriente por Cl 73 entre y AK 20	105	
						Tomar al Sur por AK 20 entre y Cl 71A	215	
						Tomar al Occidente por Cl 71A entre y Kr 17	194	
				Vía Alternativa	[Magenta Bar]	Tomar al Occidente por Cl 73 entre y Kr 23	335	
						Tomar al Sur por Kr 23 entre y AC 72	131	

Fuente: UT MOVIUS 2022

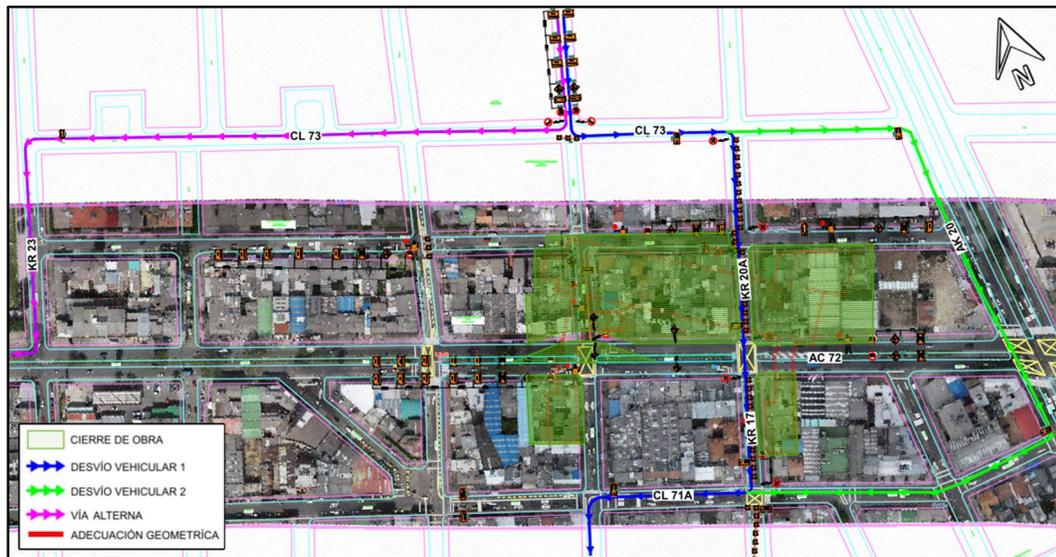


Figura 198. Desvíos en Estación 1 - Etapa 3.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.1.1.2. Estación 2

El plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 2 contempla tres etapas:

- Etapa 1

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 2 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2 se plantea el cierre de la Carrera 51 desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 71C y el cierre de la Carrera 50 desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 71C. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 61. Descripción de desvíos - Estación 2 - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m ²]
2	2	Kr 51	CL 71C	AK 72	Desvío	Blue	Tomar al Oriente por CI 74 entre y Av NQS	45	450
							Tomar al Sur por Av. NQS entre y CI 71A	364	
							Tomar al Occidente por CI 71A entre y Kr 50	45	
					Desvío	Green	Tomar al Sur por Kr 53 entre y CI 71C	81	
							Tomar al Oriente por CI 71C entre y Kr 51	144	
					Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Occidente por CI 74 entre y Kr 53	222	
							Tomar al Sur por Kr 53 entre y AK 72	190	

Fuente: UT MOVIUS 2022

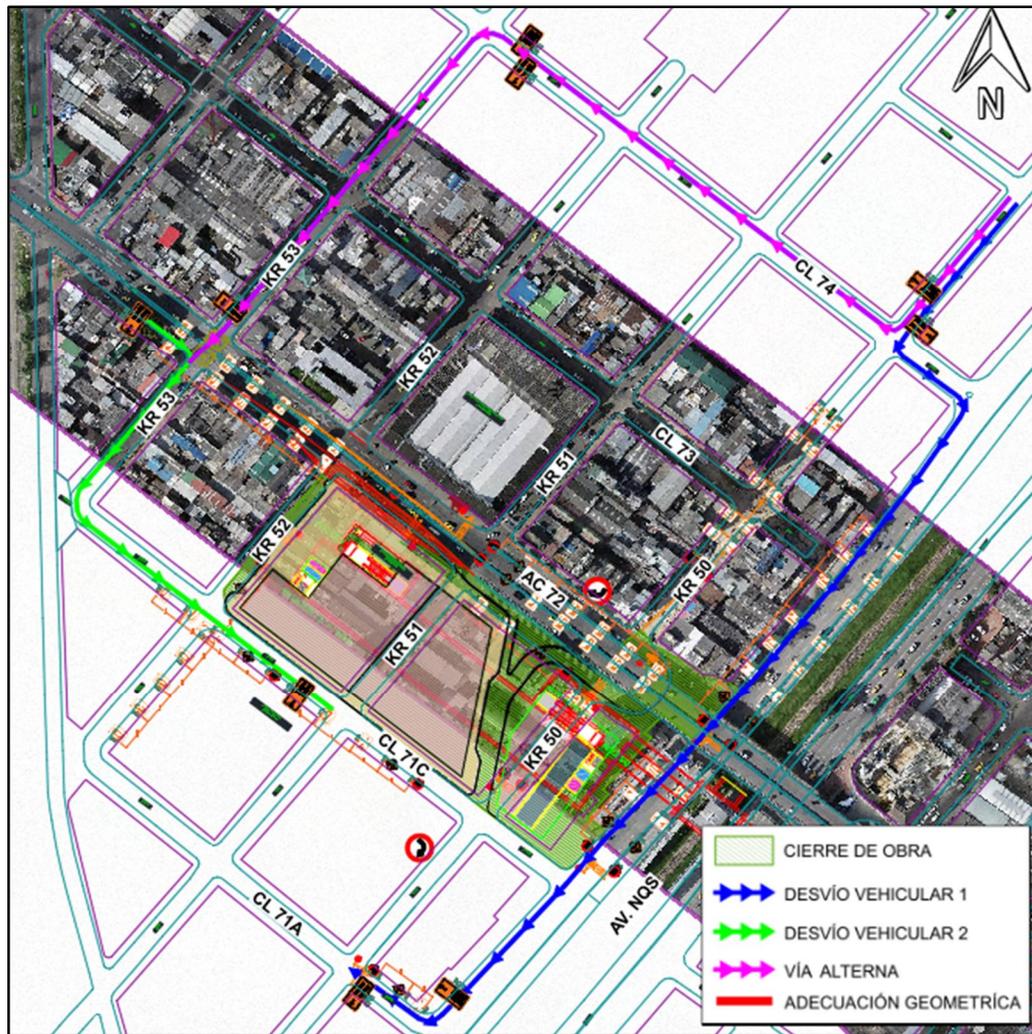


Figura 199. Desvíos en Estación 2 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En esta etapa no se consideran desvíos ni vías alternas para transporte particular. Sin embargo, sí se contemplan desvíos para peatones.

3.2.12.1.1.3. Estación 3

El plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 3 contempla tres etapas:

- Etapa 1

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 3 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2 se plantea el cierre de la oreja en sentido Oriente-Sur desde la Avenida Calle 72 con Avenida Carrera 68, y el cierre de la conectante Norte Occidente. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 62. Descripción de desvíos - Estación 3 - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Via Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m ²]
3	2	Oreja sentido Oriente - Sur	AC - 72	AK 68	Desvío	[Color Verde]	Tomar al Occidente por AC 72 entre y Kr 68C	219	1698
							Tomar al Norte por Kr 68C entre y CI 74A	260	
							Tomar al Oriente por CI 74C entre y AK 68	183	
					Desvío	[Color Azul]	Tomar al Occidente por Av. 68 entre y AC 72	271	

Fuente: UT MOVIUS 2022

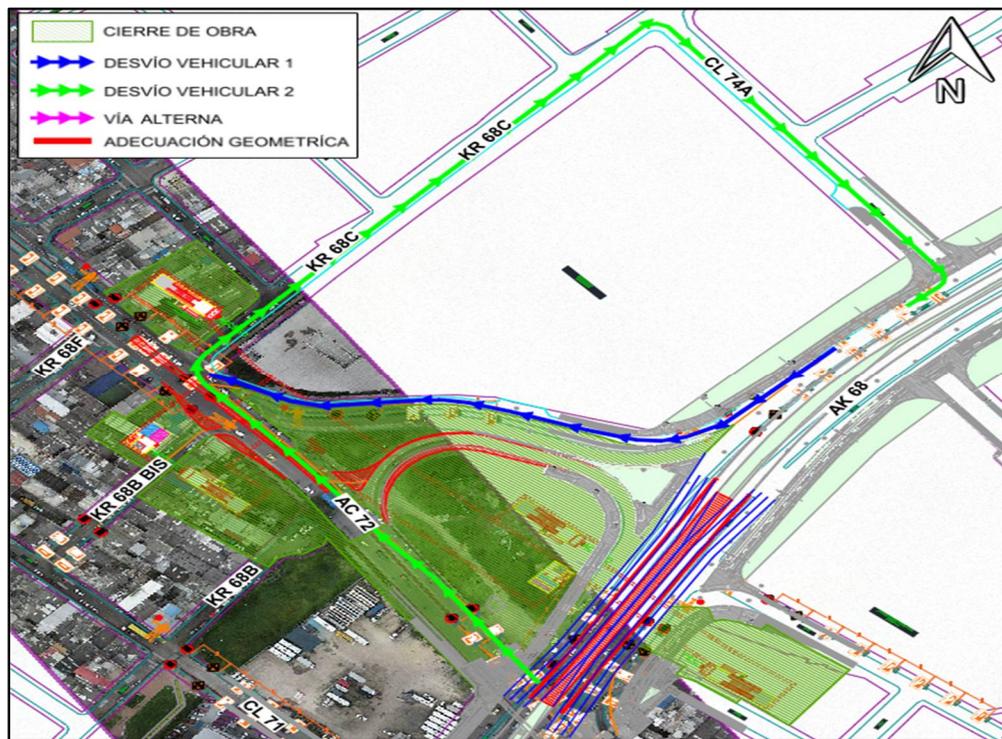


Figura 200. Desvíos en Estación 3 - Etapa 2.



Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En esta etapa no se plantean desvíos ni vías alternas para transporte particular, pero sí se contemplan adecuaciones geométricas.

3.2.12.1.1.4. Estación 4

Para el plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 4 no se plantean cierres, desvíos o vías alternas.

3.2.12.1.1.5. Estación 5

Para el plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 5 no se requieren cierres, desvíos o vías alternas.

3.2.12.1.1.6. Estación 6

El plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 6 contempla dos etapas:

- Etapa 1

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 6 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2 se plantea el cierre de la Calle 77A y CL 78 desde la Avenida Carrera 86 hasta la Carrera 85. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 63. Descripción de desvíos - Estación 6 - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m ²]
6	2	CI 77A y CL 78	AK 86	KR 85	Desvío	[Color Azul]	Tomar al Oriente por CI 80 entre y Kr 84	178	-
							Tomar al Sur por Kr 84 entre y CI 77	219	
							Tomar al Occidente por CI 77 entre y AK 86	187	
					Desvío	[Color Verde]	Tomar al Occidente por CI 78 entre y Kr 84	100	

					Desvío	Tomar al Occidente por Cl 77A entre y Kr 84	100
					Vía Alternativa	Tomar al Sur por Kr 85 entre y Cl 77A	162
						Tomar al Oriente por Cl 77A entre y Kr 84	63

Fuente: UT MOVIOUS 2022

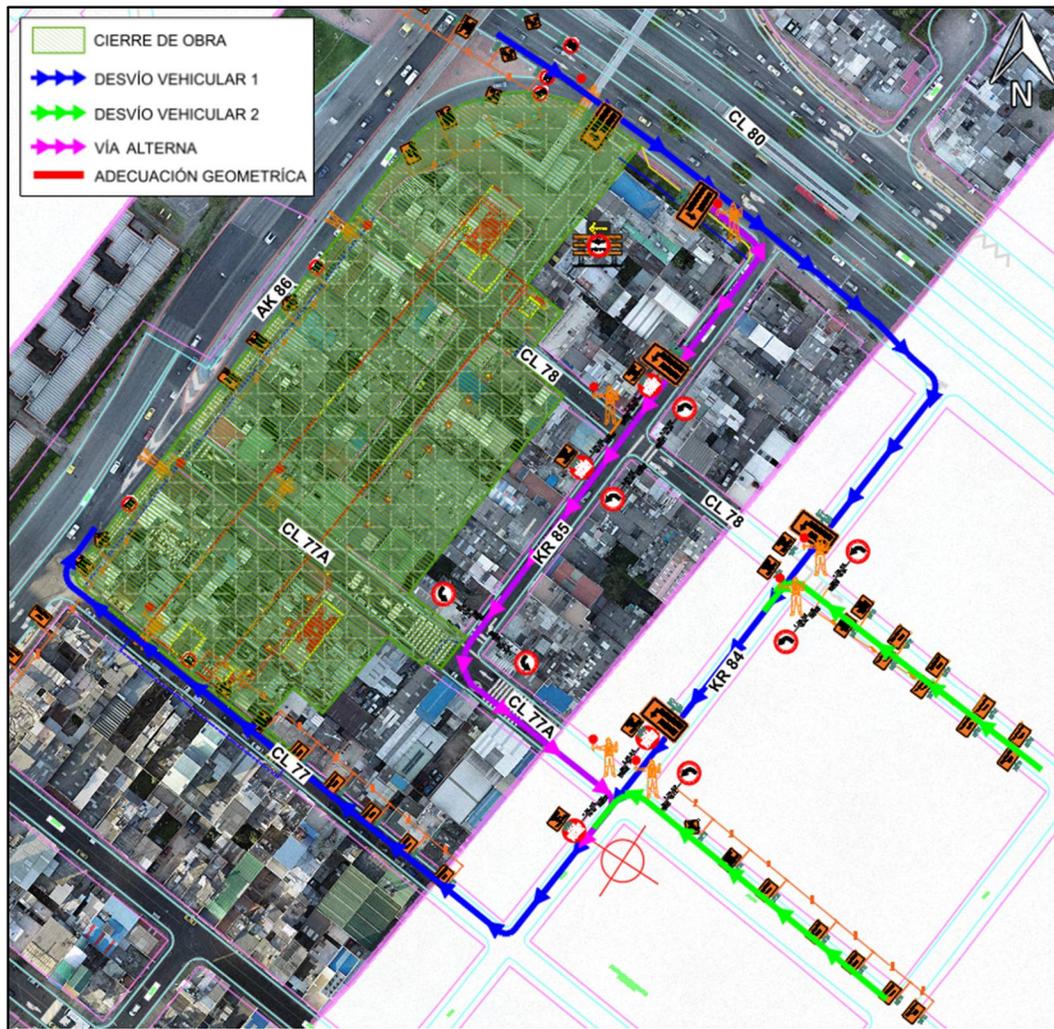


Figura 201. Desvíos en Estación 6 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.12.1.1.7. Estación 7

El plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 7 contempla dos etapas:

- Etapa 1

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 7 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2 se plantea el cierre de la calzada sur de la Calle 90 en sentido Occidente - Oriente desde la Avenida Carrera 86 y la Carrera 85A. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 64. Descripción de desvíos - Estación 7 - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m ²]
7	2 y 3	Calzada sur de CI 90 en sentido Occidente - Oriente	AK 86	KR 85A	Desvío	Blue	Tomar al Sur por Kr 89A entre y CI 89	128	541
							Tomar al Oriente por CI 89 entre y Kr 76	711	
							Tomar al Norte por Kr 76 entre y CI 90	139	
							Tomar al Occidente por CI 90 entre y Kr 76A	51	
							Tomar al Norte por Kr 76A entre y CI 90 A	58	
					Desvío	Green	Tomar al Norte por Kr 76 entre y CI 90	139	
							Tomar al Occidente por CI 90 entre y Kr 85A	343	
					Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Occidente por CI 90 entre y Kr 89A	295	
							Tomar al Oriente por CI 90A entre y Kr 76A	343	
					Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Sur por Kr 76A entre y CI 90	58	
Tomar al Occidente por CI 90 entre y Kr 76B	102								
Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Sur por Kr 76A entre y CI 89	120						

Fuente: UT MOVIUS 2022

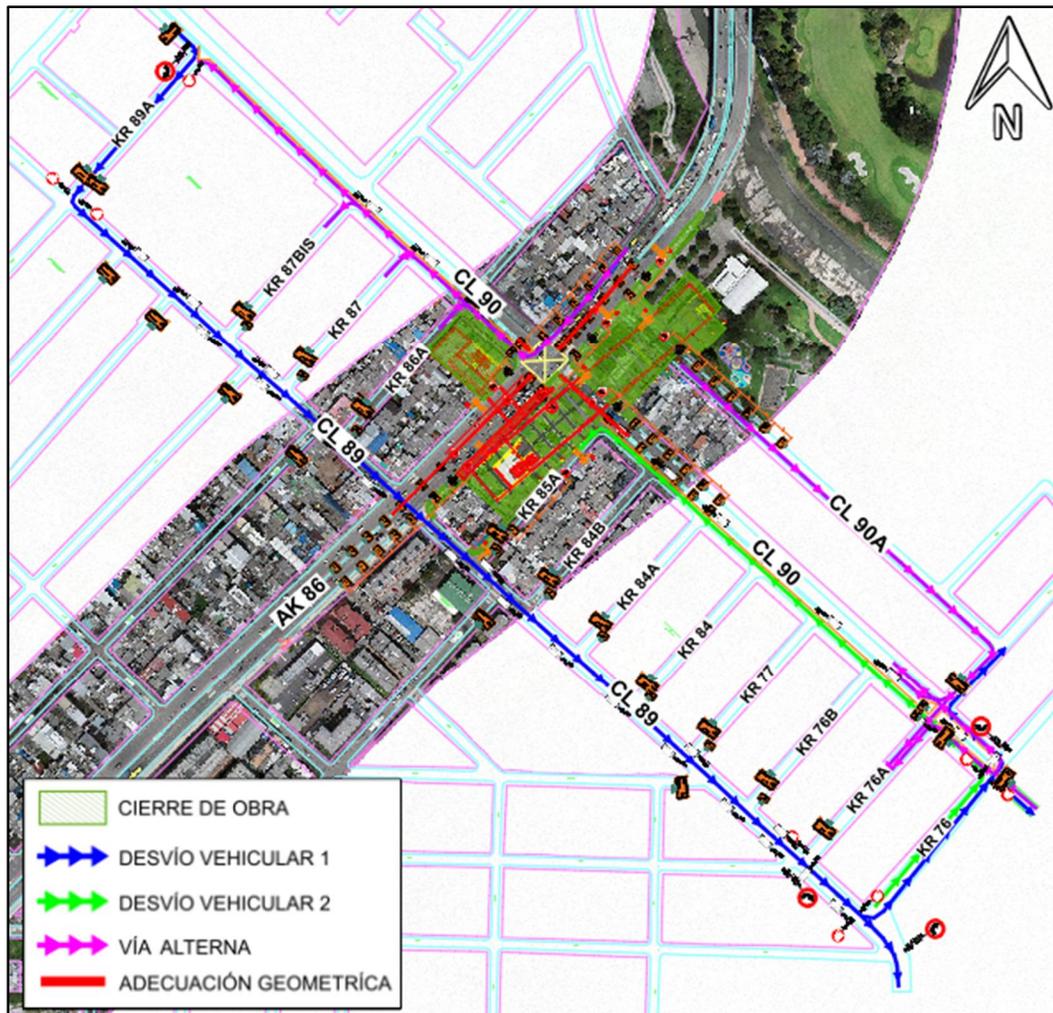


Figura 202. Desvíos en Estación 7 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En esta etapa no se plantean desvíos ni vías alternas para transporte particular. Sin embargo, sí se contemplan adecuaciones geométricas.

3.2.12.1.1.8. Estación 8

El plan de manejo y desvíos para la construcción de la Estación 8 contempla dos etapas:

- Etapa 1

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 8 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2 se plantea el cierre de la Calle 127B desde la Carrera 93C hasta la Carrera 95. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 65. Descripción de desvíos - Estación 8 - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m ²]
8	2	CI 127B	KR 93C	KR 95	Desvío	Blue	Tomar al Norte por Kr 95 entre y CI 127D	114	-
							Tomar al Oriente por CI 127D entre y Kr 93	337	
							Tomar al Norte por Kr 94 entre y CI 127D	105	
							Tomar al Norte por Kr 93F entre y CI 127D	98	
							Tomar al Norte por Kr 93D BIS entre y CI 127D	96	
							Tomar al Norte por Kr 93D entre y CI 127D	94	
							Tomar al Norte por Kr 93C BIS entre y CI 127D	94	
							Tomar al Norte por Kr 93C entre y CI 127D	102	
					Desvío	Green	Tomar al Sur por Kr 95 entre y CI 127D	114	
					Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Occidente por CI 127 BIS entre y Kr 95 BIS A	68	
							Tomar al Norte por Kr 95 BIS A entre y CI 127B	31	
							Tomar al Oriente por CI 127B entre y Kr 95 BIS	76	
					Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Occidente por CI 127B entre y Kr 95 BIS A	76	
Tomar al Sur por Kr 95 BIS A entre y CI 127 BIS	31								
Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Oriente por CI 127 BIS entre y Kr 95 BIS	68						

Fuente: UT MOVIUS 2022

En la Etapa 1 de la construcción de la Estación 11 no se plantean desvíos o vías alternas.

- Etapa 2

En la Etapa 2 se plantea el cierre de la Carrera 141B desde la Calle 144C hasta la Calle 145A. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos.

Tabla 66. Descripción de desvíos - Estación 11 - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m ²]
11	2	KR 141 B	CI 144 C	CI 145 A	Desvío	[Blue bar]	Tomar al Occidente por CI 145A entre y Kr 145	233	-
							Tomar al Sur por Kr 145 entre y CI 144C	222	
							Tomar al Oriente por CI 144C entre y Kr 141 B	169	
					Vía Alternativa	[Pink bar]	Tomar al Occidente por CI 144C entre y Kr 145	169	
							Tomar al Norte por Kr 145 entre y CI 145A	222	
							Tomar al Oriente por CI 145A entre y Kr 141 B	233	

Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 204. Desvíos en Estación 11 - Etapa 2.

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En la Etapa 3 se plantea el cierre de la Carrera 146 desde la Calle 144C hasta la Calle 145A. En la siguiente tabla se muestran los desvíos y vías alternas establecidos:

Tabla 67. Descripción de desvíos - Estación 11 - Etapa 3.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta				[m]	[m²]
11	3	KR 146	CI 144 C	CI 145 A	Desvío	[Blue]	Tomar al Sur por Kr 141B entre y CI 144C	382	-
							Tomar al Oriente por CI 144C entre y Kr 141A	202	
					Vía Alternativa	[Magenta]	Tomar al Occidente por CI 144C entre y Kr 141B	202	
							Tomar al Norte por Kr 141B entre y DG 149	382	

Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 205. Desvíos en Estación 11 - Etapa 3.

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.1.1.12. Ingreso de tuneladora

El plan de manejo y desvíos para el ingreso de la tuneladora contempla dos etapas:

- Etapa 1

Para el ingreso de la tuneladora en la Etapa 1 se plantea el cierre de obra en zonas verdes y en la Avenida Calle 145 sin cerrar el acceso a los conjuntos residenciales Yerbamora Reservado (Calle 145 #128-41) y Tayazal de Suba (Av Calle 145 #128-40). Para el ingreso de residentes se prevé el uso de las vías alternas descritas en la siguiente tabla:

Tabla 68. Descripción de vías alternas - Ingreso Tuneladora - Etapa 1.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud [m]	Adecuaciones Geométricas [m ²]
			Desde	Hasta					
Ingreso Tuneladora	1	-	-	-	Vía Alternativa	Magenta	Tomar al Oriente por Cl 144C entre y Kr 128	247	-
							Tomar al Norte por Kr 128 entre y AC 145	232	
							Tomar al Oriente por DG 146 entre y Kr 128	189	
							Tomar al Sur por Kr 128 entre y AC 145	252	

Fuente: UT MOVIUS 2022

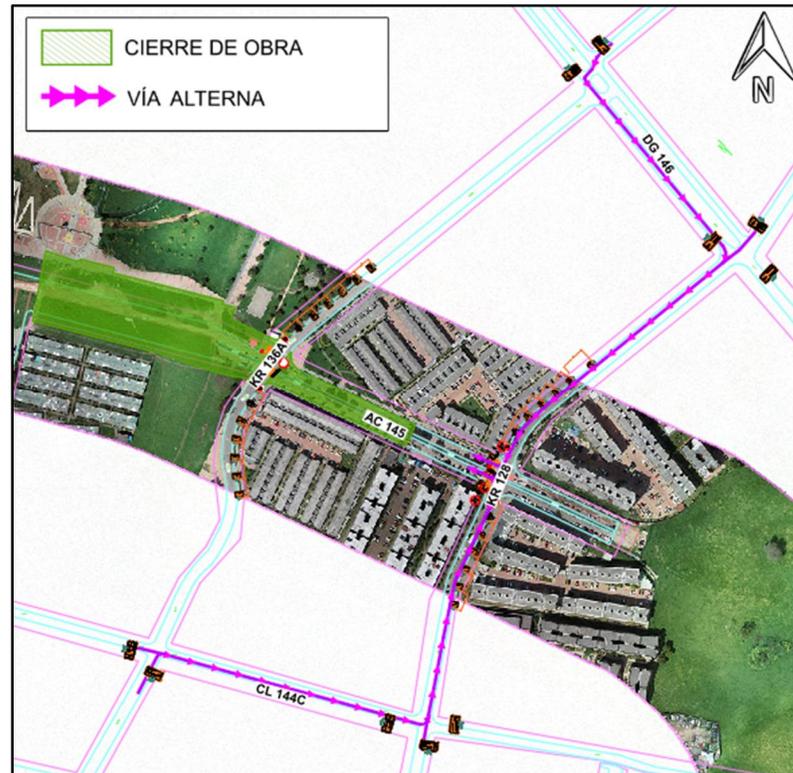


Figura 206. Vías alternas Ingreso de Tuneladora - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 2

Para el ingreso de la tuneladora en la Etapa 2 se plantea el cierre de la Carrera 136A sobre la Avenida Calle 145. Los desvíos previstos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 69. Descripción de desvíos - Ingreso Tuneladora - Etapa 2.

Estación	Etapa	Vía Cerrada	Tramo		Desvío Vía Alternativa	Color	Descripción	Longitud [m]	Adecuaciones Geométricas
			Desde	Hasta					[m ²]
Ingreso Tuneladora	2	KR 136A	AC 145	AC 145	Desvío	[Blue and Green blocks]	Tomar al Oriente por CI 144C entre y Kr 128	247	-
							Tomar al Norte por Kr 128 entre y DG 146	486	
							Tomar al Occidente por DG 146 entre y Kr 136A	199	
					Desvío		Tomar al Oriente por DG 146 entre y Kr 128	199	
							Tomar al Sur por Kr 128 entre y CI 144C	486	
							Tomar al Occidente por CI 144C entre y Kr 136A	247	

Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 207. Desvíos Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.1.2. Transporte público

3.2.12.1.2.1. Estación 1

El plan de manejo y desvíos para el transporte público durante la construcción de la Estación 1 contempla tres etapas:

- Etapa 1

En esta primera etapa no es necesario establecer un plan de manejo y desvíos para las rutas de transporte público zonal y troncal.

- Etapa 2

En esta etapa se plantean desvíos para rutas zonales debido al cierre de la Carrera 20B desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A. Los desvíos y rutas previstas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 70. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 2.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
2	C123-3, C117-2, 466-1, B309-1, 192-1, C151-2, B919-1, B906-1	-	Tomar al Norte por Kr 20A entre CI 72 y CI 74	-	Tomar al Norte por Kr 20 entre AC 72 y CI 74
			Tomar al Oriente por CI 74 entre Kr 20A y Kr 15		Tomar al Oriente por CI 74 entre Kr 20 y Kr 20A
			-		Tomar al Oriente por CL 74 entre Kr 20B y AK 20

Fuente: UT MOVIUS 2022.

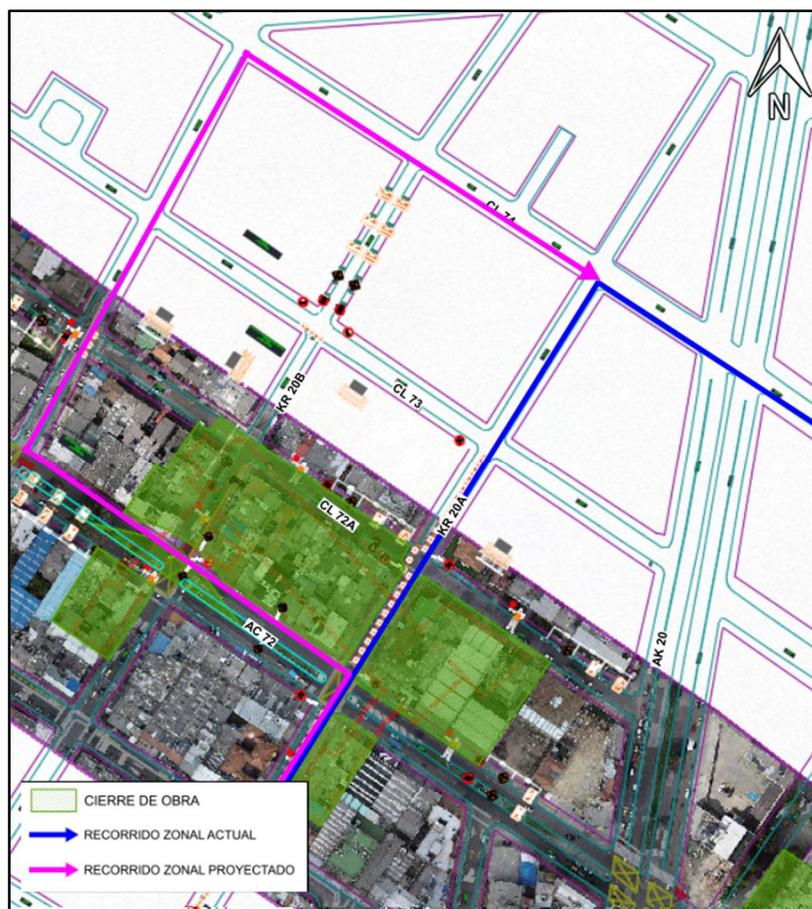


Figura 208. Desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En esta etapa se plantean desvíos para rutas troncales debido al cierre de la Carrera 20B desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A. Los desvíos y rutas previstas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 71. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 3.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
3	M-81	Red	Tomar al Sur por Kr 20B entre CL 74 y CL 72	Green	Tomar al Oriente por CL 74 entre Kr 20B y AK 20
	M-84		Tomar al Oriente por CL 72 entre Kr 19 y Kr 17		Tomar al Sur por AK 20 entre CL 74 y CL 72

Fuente: UT MOVIUS 2022.

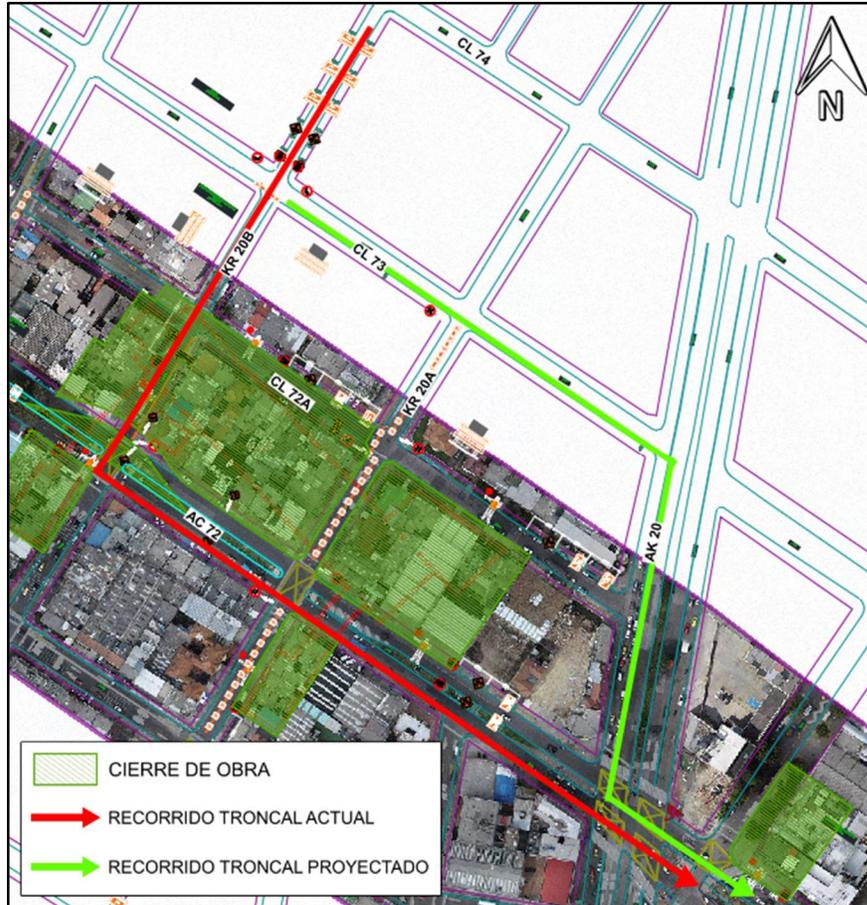


Figura 209. Desvíos para Transporte Público - Estación 1 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.1.2.2. Estación 2

Para la construcción de la Estación 2 no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presenta ninguna afectación por el cierre de la Carrera 50 y la Carrera 51. Así mismo, la Avenida Calle 72 mantiene las adecuaciones viales descritas en el numeral de cierres.

3.2.12.1.2.3. Estación 3

El plan de manejo y desvíos para el transporte público durante la construcción de la Estación 3 contempla tres etapas:

- Etapa 1



En esta primera etapa no es necesario establecer un plan de manejo y desvíos para las rutas de transporte público zonal y troncal.

- Etapa 2

En esta etapa se plantean desvíos para rutas zonales debido al cierre de la oreja sentido Oriente - Sur desde la Avenida Calle 72 hasta la Carrera 6. Los desvíos y rutas previstas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 72. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 3 - Etapa 2.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
2	C 123-3 12-3	[Color Azul]	Tomar al Occidente por AC 72 entre Kr 66 y Oreja sentido Oriente - Sur	[Color Magenta]	Tomar al Occidente por AC 72 entre Kr 66 y Kr 68C
			Tomar al Sur por Oreja sentido Oriente - Sur entre CI 72 y Kr 68		Tomar al Norte por Kr 68C entre CI 72 y CI 74A
			Tomar al Sur por Kr 68 entre Oreja sentido Oriente - Sur y CI 68b		Tomar al Oriente por CI 74A entre Kr 68C y Kr 68
			-		Tomar al Sur por Kr 68 entre CI 74A y CI 68B

Fuente: UT MOVIUS 2022.

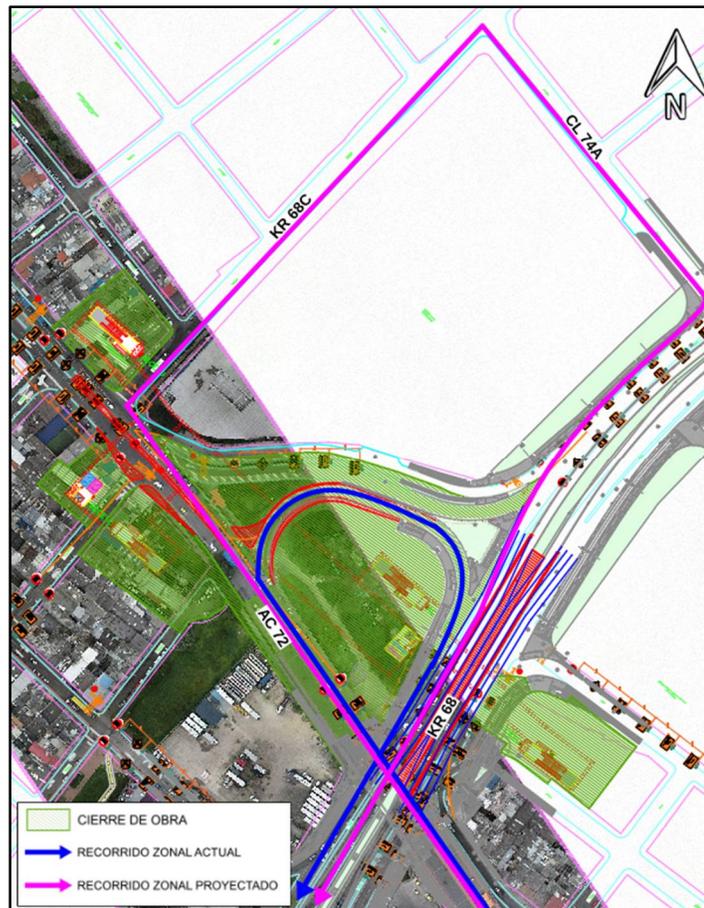


Figura 210. Desvíos para Transporte Público - Estación 3 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

En esta etapa no es necesario establecer un plan de manejo y desvíos para las rutas de transporte público zonal, por las adecuaciones viales a las que estará sometida la oreja en sentido Oriente - Sur.

3.2.12.1.2.4. Estación 4

Para la construcción de la Estación 4 no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presentan cierres viales. Por otra parte, la Avenida Calle 72 mantiene las adecuaciones viales descritas en el numeral de cierres.

3.2.12.1.2.5. Estación 5

Para la construcción de la Estación 5 no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presentan cierres viales.

3.2.12.1.2.6. Estación 6

Para la construcción de la Estación 5 no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presenta afectación por el cierre de la Calle 77A y Calle 78. Así mismo, la Avenida Calle 72 mantiene las adecuaciones viales descritas en el numeral de cierres.

3.2.12.1.2.7. Estación 7

El plan de manejo y desvíos para el transporte público en la construcción de la Estación 7 contempla tres etapas:

- Etapa 1

En esta primera etapa no es necesario establecer un plan de manejo y desvíos para las rutas de transporte público zonal y troncal.

- Etapa 2

En esta etapa se plantean desvíos para rutas zonales debido al cierre de la Calzada derecha de CI 90 en sentido Occidente - Oriente desde la Avenida Carrera 86 hasta la Carrera 85A. Los desvíos y rutas previstos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 73. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 7 - Etapa 2 y 3.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Propyectado
2 y 3	5-3A, 193B-3, 271-2, 621-1, 60-1, H131-1, 539-2, B909-1, A203-2.	■	Tomar al Oriente por CI 90 entre Kr 87 Bis y Calle 90	■	Tomar al Sur por Kr 89A entre CI 90 y CI 89
			-		Tomar al Oriente por CI 89 entre Kr 89A y Kr 76
			Tomar al Oriente por CI 90 entre Kr 87 Bis y Kr 86		Tomar al Sur por Kr 89A entre CI 90 y CI 89
	A 206-1, 59B-3, 914-3	■	Tomar al Sur por Kr 86 entre CI 90 y CI 70A	■	Tomar al Oriente por CI 89 entre Kr 89A y Kr 86
			-		Tomar al Sur por Kr 86 entre CI 89 y CI 70A
			-		-

Fuente: UT MOVIUS 2022.



Figura 211. Desvíos para Transporte Público - Estación 7 - Etapa 2 y 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

Los desvíos para el transporte público en esta etapa son iguales a los de la etapa anterior (Etapa 2).

3.2.12.1.2.8. Estación 8

Para la construcción de la Estación 8 no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presentan cierres viales que las afecten.

3.2.12.1.2.9. Estación 9

Para la construcción de la Estación 9 no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presentan cierres viales que las afecten.

3.2.12.1.2.10. Estación 10

Para la construcción de la Estación 10 de L2MB no se requieren cambios en las rutas de transporte público en ninguna etapa, puesto que no se presentan cierres viales que las afecten. Sin embargo, la Calle 139 se verá sometida a las adecuaciones viales descritas en el numeral de cierres.

3.2.12.1.2.11. Estación 11

El plan de manejo y desvíos para el transporte público durante la construcción de la Estación 11 contempla tres etapas:

- Etapa 1

En esta primera etapa no es necesario establecer un plan de manejo y desvíos para las rutas de transporte público zonal y troncal.

- Etapa 2

En esta etapa no se prevén cambios en las rutas de transporte público, puesto que no se genera ninguna afectación por el cierre de la Carrera 141B.

- Etapa 3

En esta etapa se plantean desvíos para rutas zonales debido al cierre de la Carrera 141B desde la Calle 144C y la Calle 145A. Los desvíos y rutas previstas en dirección Norte - Sur se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 74. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Propyectado
3	G156-2, A127-1, G147-1, C147-2, C127-2, C104-3, H116-2, C116-1		Tomar al Sur por Kr 145 entre CI 45A y CI 44		Tomar al Oriente por CI145A entre Kr 145 y Kr 141B
					Tomar al Sur por Kr 141B entre CI 145A y CI 144

Fuente: UT MOVIUS 2022.



Figura 212. Desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

De esta misma manera, en la siguiente tabla se describen los desvíos y rutas en dirección Sur - Norte:

Tabla 75. Descripción de desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.

Etapa	Código de Rutas	Col or	Recorrido Actual	Col or	Recorrido Proyectado
2	G156-2, A127-1, G147-1, C147-2, C127-2	Blue	Tomar al Norte Cr 145 entre CI 144 y CI 145A	Pink	Tomar al Norte Cr 141B entre CI 144 y CI 145A
			Tomar al Occidente por CI 145A entre Cr 145 y Transversal 143		Tomar al Occidente por CI 145A entre Cr 141B y Transversal 143
			Tomar al Norte por Transversal 143 entre CI 145A y Transversal 142		Tomar al Norte por Transversal 143 entre CI 145A y Transversal 142
	C104-3, H116-2, C116-1	Orange	Tomar al Norte Cr 145 entre CI 144 y CI 145A	Cyan	Tomar al Norte Cr 141B entre CI 144 y CI 145A
			-		Tomar al Occidente por CI 145A entre Cr 141B y Cr 145
			-		Tomar al Norte por Cr 145 entre CI 145A Diagonal 150

Fuente: UT MOVIUS 2022.



Figura 213. Desvíos para Transporte Público - Estación 11 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.1.2.12. Ingreso de tuneladora

El plan de manejo y desvíos para el transporte público durante el ingreso de la tuneladora contempla dos etapas:

- Etapa 1

En esta primera etapa no es necesario establecer un plan de manejo y desvíos para las rutas de transporte público zonal y troncal.

- Etapa 2

En esta etapa se plantean desvíos para rutas zonales debido al cierre de la Carrera 136A sobre la Avenida Carrera 146. Los desvíos y rutas previstas en sentido Norte - Sur se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 76. Descripción de desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
2	C138-2, C104-3, L149-1, A124-1, C156-1, C124-2	[Blue Box]	Tomar al Sur por Carrera 136A entre Dg146 y Cl 144	[Pink Box]	Tomar al Oriente por Dg 146 entre Cr 136A y Cr 128
			-		Tomar al Sur por Cr 128 entre Dg 146 y Cl 145

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
		■	-	■	Tomar al Occidente por CI 144 entre Cr 128 y Cr 136A

Fuente: UT MOVIUS 2022.

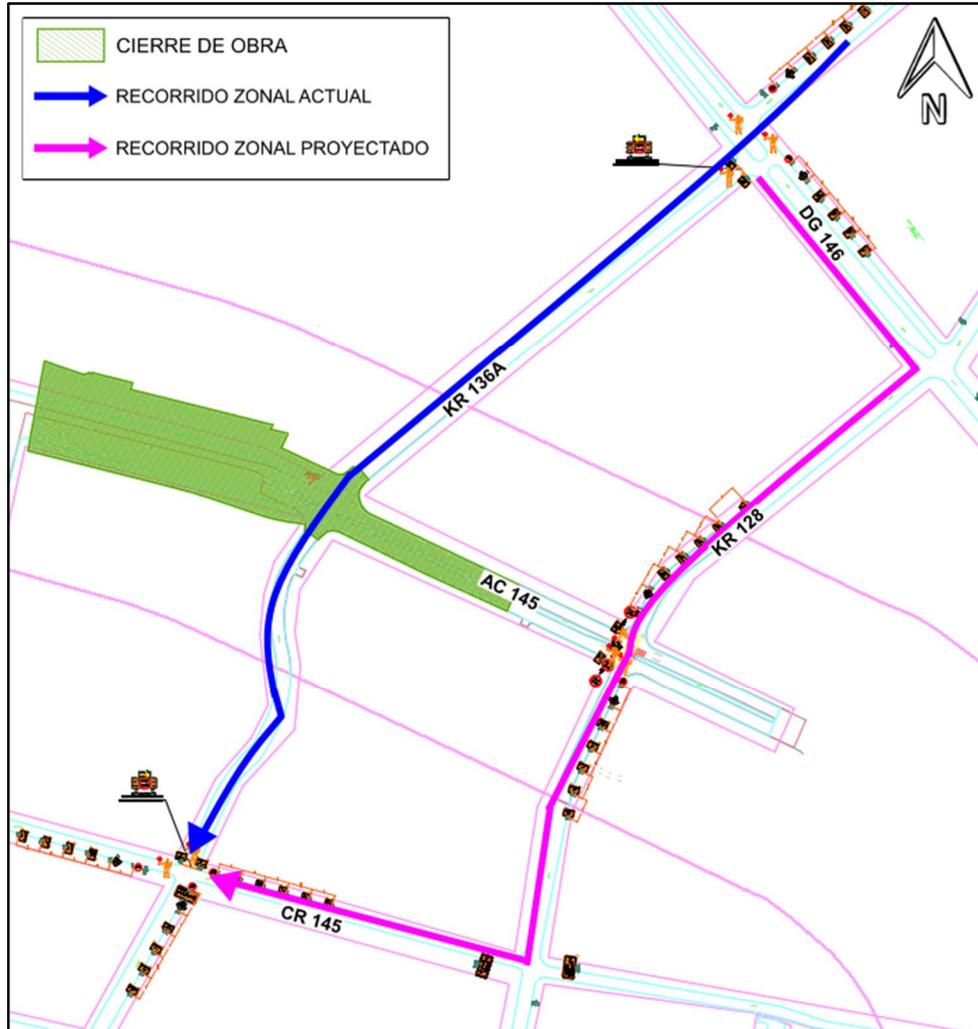


Figura 214. Desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

De esta misma manera, en la siguiente tabla se describen los desvíos y rutas en dirección Sur - Norte:

Tabla 77. Descripción de desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
2	C138-2, C104-3, L149-1,	■	Tomar al Norte por Carrera 136A entre CI 144 y Dg 146	■	Tomar al Oriente por CI 144 entre Cr 136A y Cr 128

Etapa	Código de Rutas	Color	Recorrido Actual	Color	Recorrido Proyectado
	A124-1, C156-1, C124-2	■	-	■	Tomar al Norte por Cr 128 entre CI 145 y Dg 146
			-		Tomar al Occidente por Dg 146 entre Cr 128 y Cr 136A

Fuente: UT MOVIUS 2022.

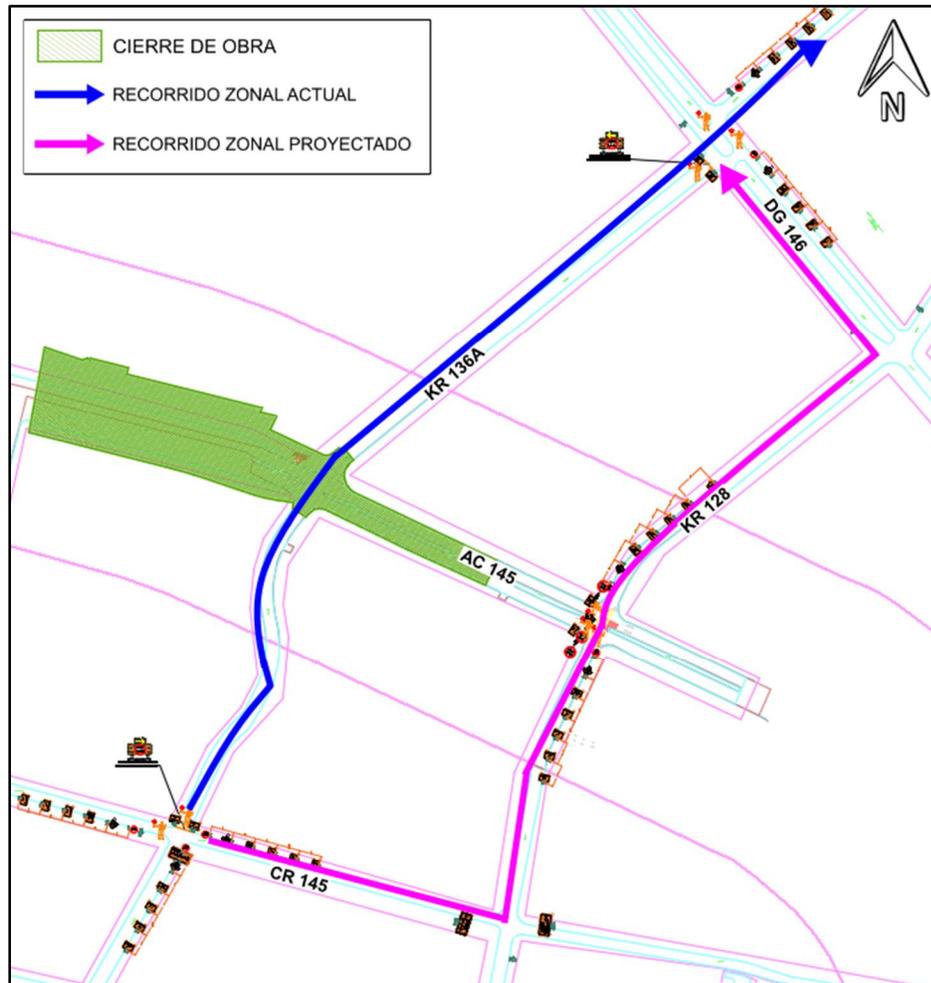


Figura 215. Desvíos para Transporte Público - Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.2. Manejo y circulación de vehículos de carga

Para el ingreso y salida de vehículos de carga se plantea que estos tomen la Avenida Calle 72 y posteriormente se dirijan a zonas de acopio, canteras o botaderos, según corresponda, a través de vías principales como la Av. Ciudad de Cali, Av. Boyacá, Av. NQS y AK 68, todas ellas diseñadas par este tipo de flujo.



Figura 216. Vías Principales para la circulación de vehículos de carga.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.12.3. Manejo de maquinaria y equipos de la obra

La maquinaria, equipos y vehículos de obra se ubicarán sobre los cierres propuestos, cumpliendo la normatividad vigente y aprovechando el espacio disponible.

Teniendo en cuenta que las obras se localizan en la zona de restricción del Decreto 840 de 2019, aplica restricción a la circulación a vehículos de transporte de carga con peso bruto vehicular superior a 8,5 toneladas en los periodos picos de la mañana y de la tarde, de lunes a viernes entre las 06:00 y las 08:00 horas y entre las 17:00 y las 20:00 horas. Para las intervenciones se deberá priorizar el traslado de maquinaria, equipo y vehículos de obra en periodo nocturno y fuera del horario de restricción.

En el caso de los vehículos de transporte para el personal y para el acarreo de herramienta menor y señalización, estos se ubicarán dentro del perímetro de protección proyectado con la canalización realizada.

Se indicarán los recorridos para el desplazamiento de la maquinaria y equipos hasta el sitio de obra, de tal forma que la Secretaría Distrital de Movilidad - SDM - tome las medidas pertinentes.

El constructor deberá proveer vehículos idóneos para el traslado y movimiento de maquinaria, tales como cama-baja, cama-alta, vehículos escolta, etc., que garanticen las condiciones de seguridad necesarias para el movimiento de equipos pesados según la Resolución 004959 del año 2006 - Cargas extra dimensionales y extra pesadas.

3.2.12.4. Plan de Manejo de Tráfico

A continuación se presenta la propuesta de cierre en la etapa de factibilidad para la construcción de las estaciones del proyecto L2MB.

3.2.12.4.1. Estación 1

Los cierres para la construcción de la Estación 1 contemplan tres etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 1, en la Etapa 1 no se requiere el cierre de vías. Sin embargo; en esta etapa se han contemplado adecuaciones geométricas sobre el separador de la Avenida Calle 72 y el andén del costado occidental de la KR 20B.

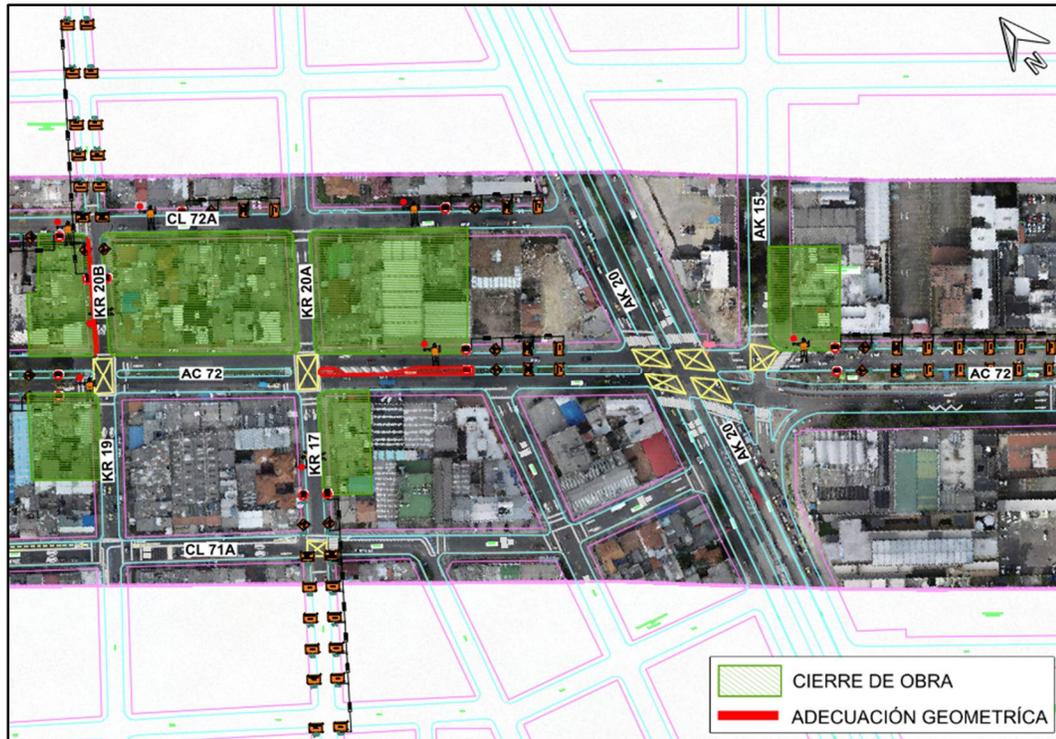


Figura 217. Cierres de obra en Estación 1 - Etapa 1.

Fuente: UT MOVIUS 2022

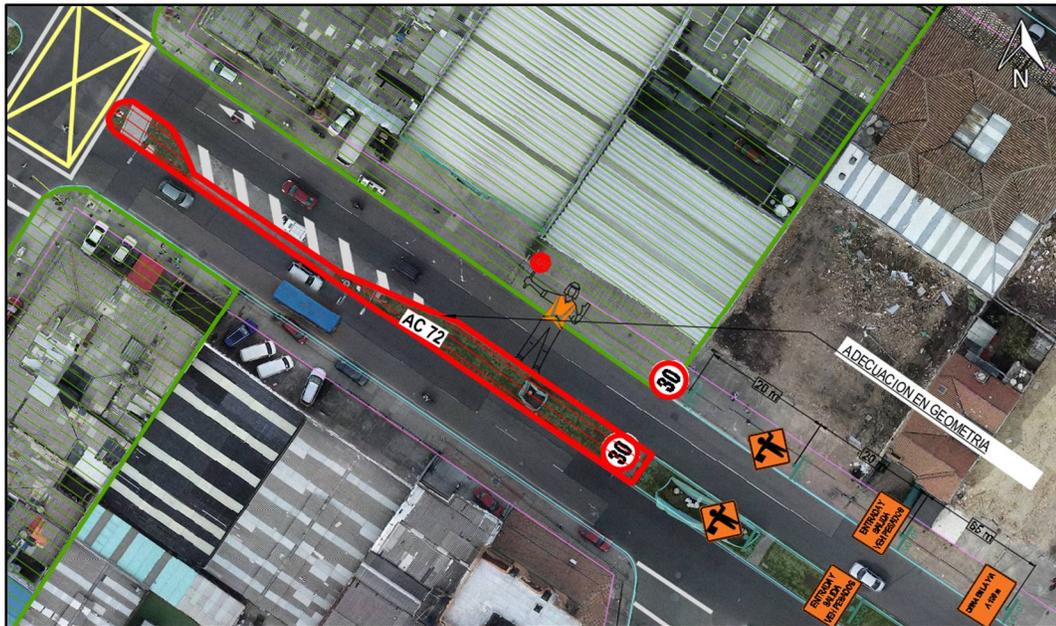


Figura 218. Adecuación geométrica sobre la AC 72 en Estación 1 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Sobre la Avenida Calle 72 se considera la adecuación del separador central de un área aproximada de 158 m² para garantizar en las posteriores etapas dos carriles de circulación para ambas calzadas y de esa manera adecuar el cierre de obra en el área, según se requiera.



Figura 219. Adecuación geométrica sobre la KR 20B en Estación 1 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Sobre la Carrera 20B se requiere adecuar un área aproximada de 51 m² del andén del costado occidental para garantizar que los carriles cumplan con el mínimo de ancho de 3,25 m.

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se plantea el cierre de la Carrera 20A desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A. Adicionalmente, y con el fin de generar espacio al cruce de la Avenida Calle 72 para la conexión con los accesos satelitales del costado sur y garantizar la continuidad de dos carriles por sentido sobre esta vía, se requiere una serie de adecuaciones geométricas a lo largo de la Avenida Calle 72, indicadas en las siguientes imágenes:

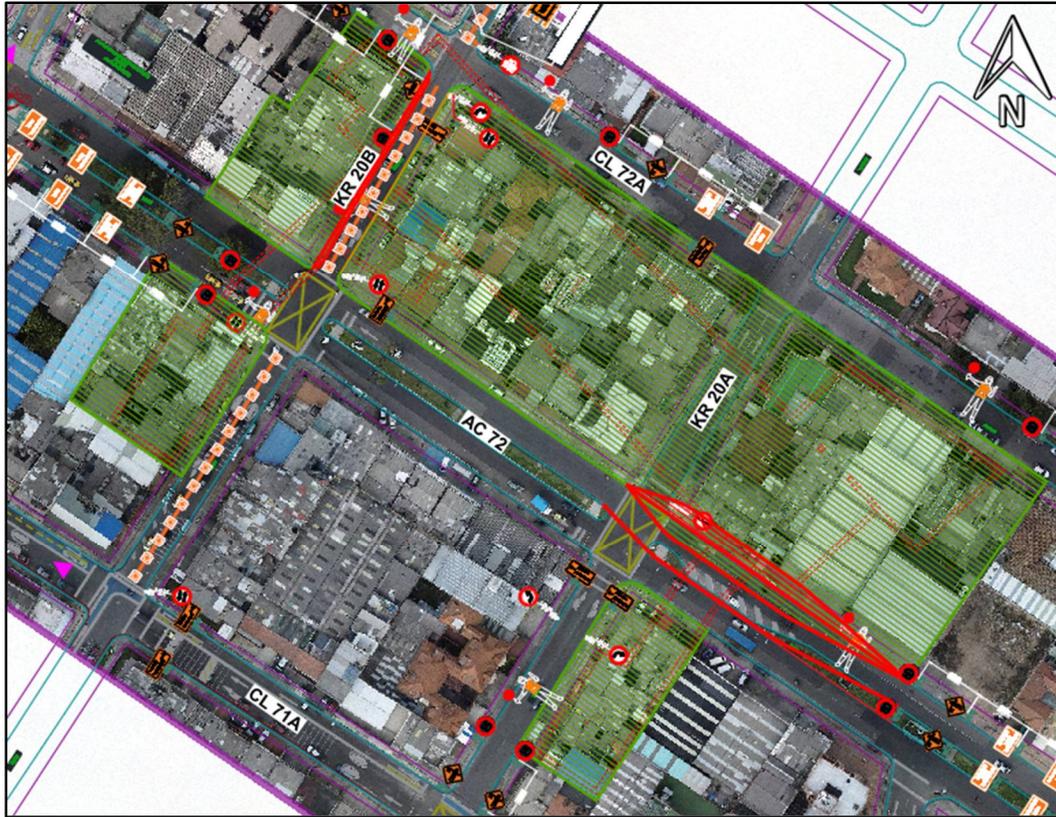


Figura 220. Cierres de obra en Estación 1 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

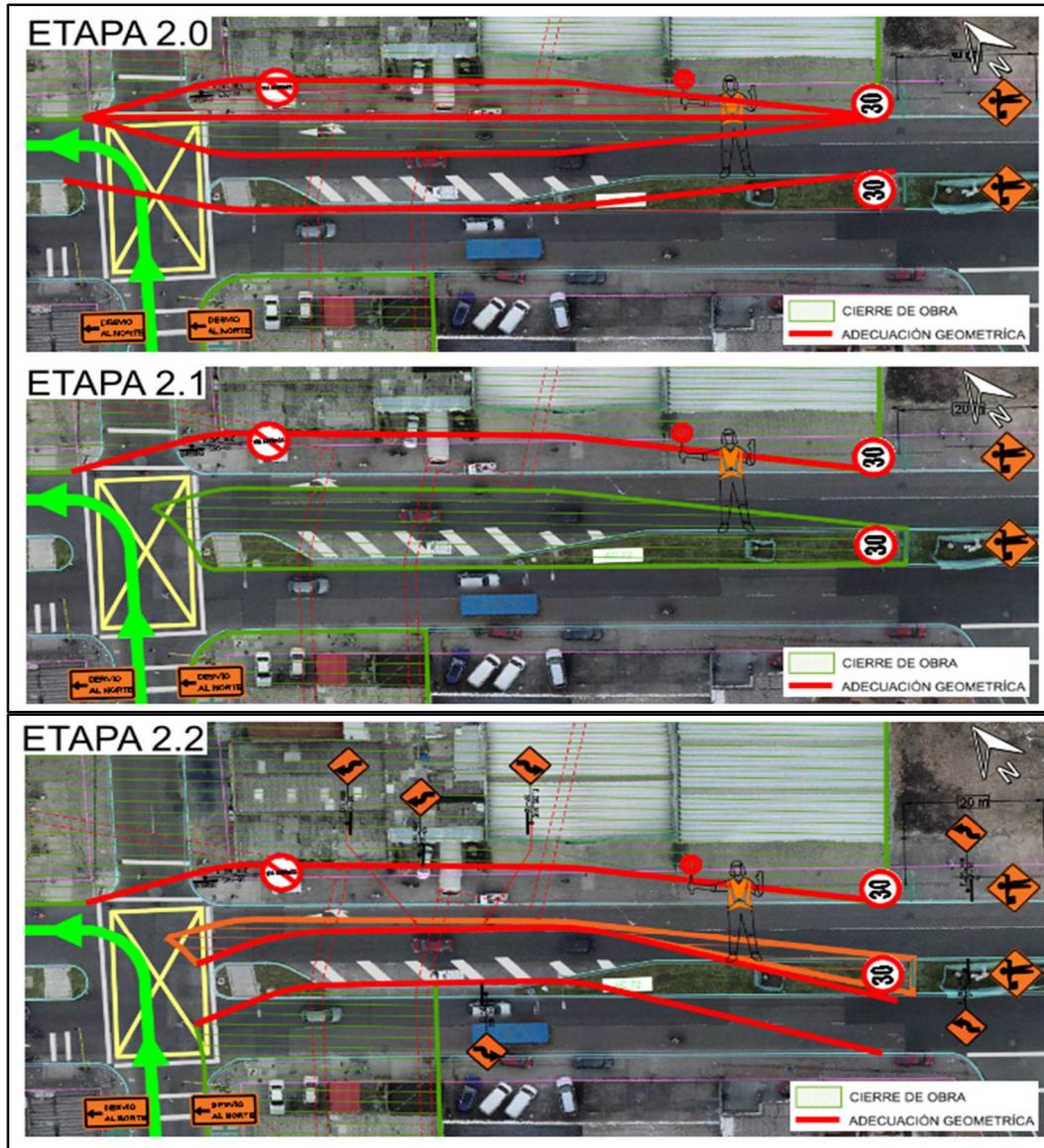


Figura 221. Adecuaciones Geométricas en Estación 1 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con las imágenes anteriores, luego de la adecuación del separador central de la Etapa 1, en la Etapa 2.0 se procede a desplazar la calzada derecha y a ampliar el cierre de obra hacia el sur. En la Etapa 2.1 se desplaza nuevamente la calzada derecha hacia el norte y se adecúa el cierre de obra entre las dos calzadas de la Avenida Calle 72. Finalmente, en la Etapa 2.2 se mantiene la calzada derecha, pero la calzada izquierda se desplaza hacia el norte y el cierre de obra se localiza en el costado sur de la Avenida Calle 72.

- Etapa 3

Para la Etapa 3 se plantea el cierre de la Carrera 20B desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 72A. Adicionalmente, en esta etapa se requiere una serie de adecuaciones geométricas a lo largo de la Avenida Calle 72, indicadas en las siguientes imágenes:

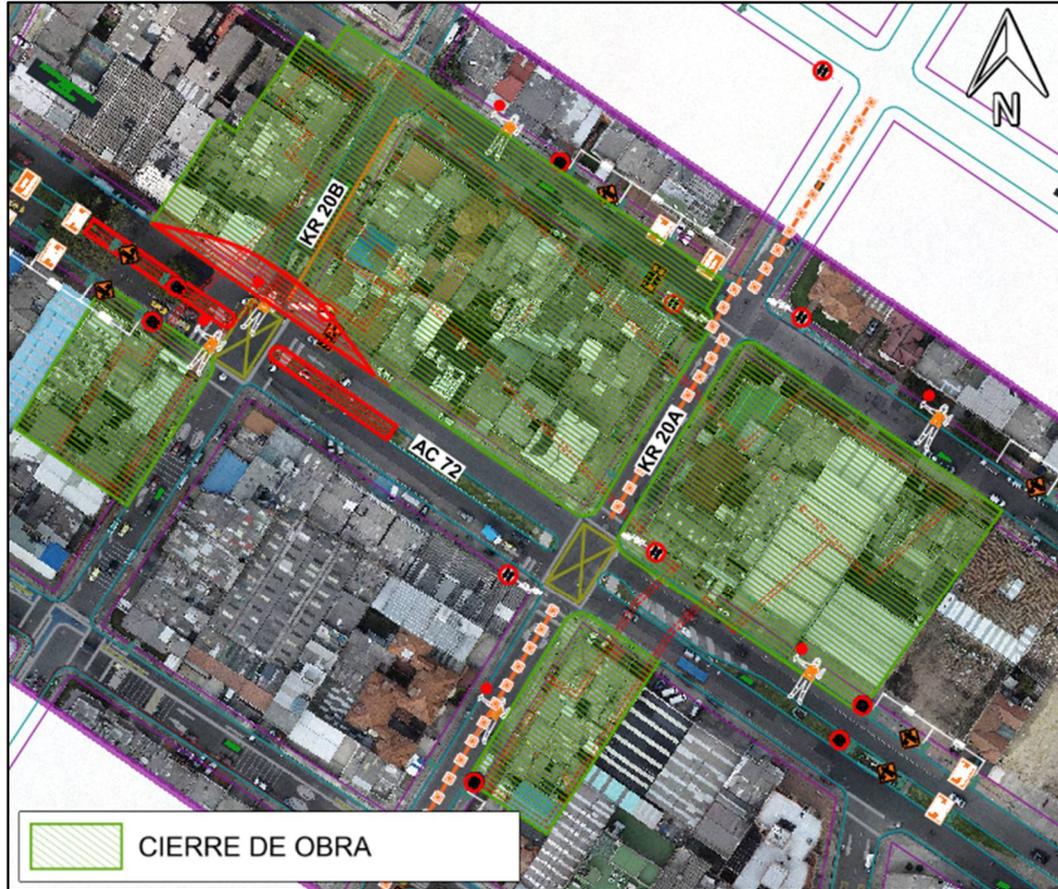


Figura 222. Cierres de obra en Estación 1 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

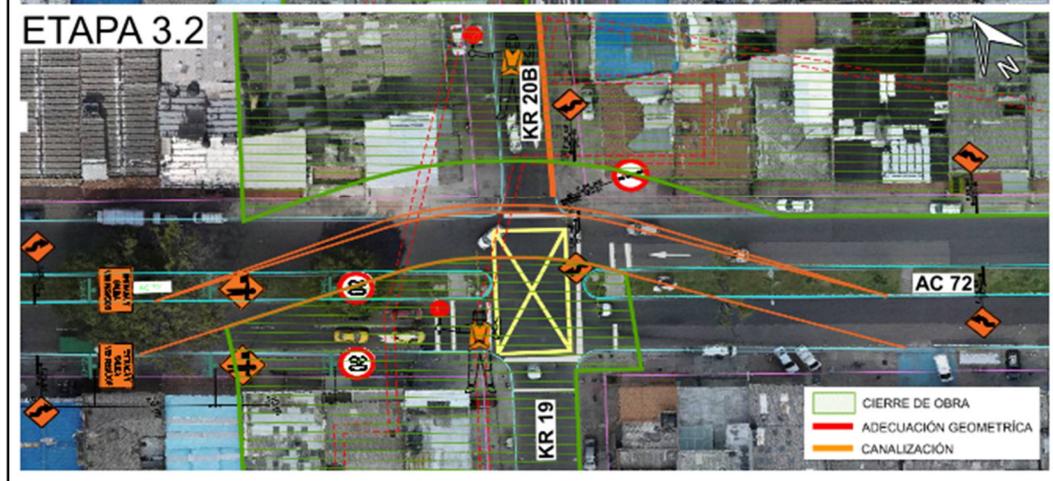
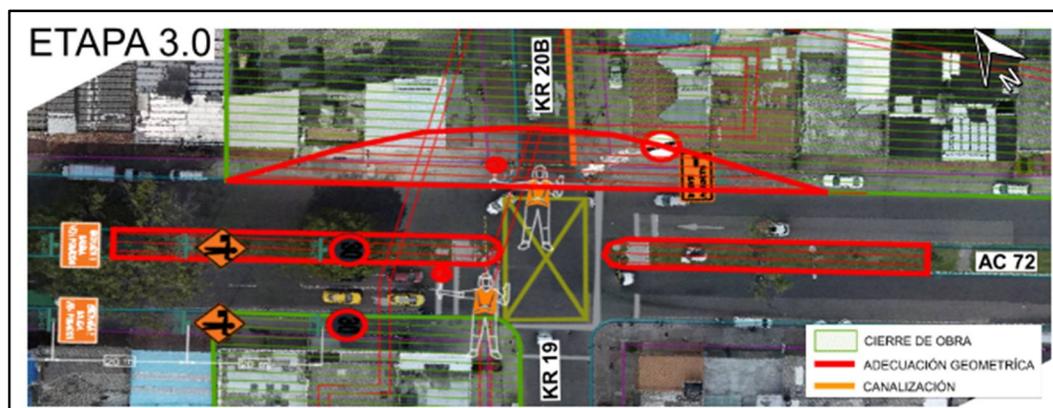


Figura 223. Adecuaciones Geométricas en Estación 1 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con las imágenes anteriores, en la Etapa 3.0 se procede a adecuar el separador central sobre la Avenida Calle 72 en la intersección con la Carrera 19 y Carrera 20B, y parte del andén norte de la Avenida Calle 72 comprendido, en un área aproximada de 360 m². En la Etapa 3.1 la calzada derecha de la Avenida

Calle 72 se desplaza hacia el norte y el cierre de obra se ubica en medio de las dos calzadas de esta misma vía. Finalmente, en la Etapa 3.2 la calzada derecha se mantiene pero la calzada izquierda se desplaza hacia el norte y el cierre de obra se localiza en el costado sur de la Avenida Calle 72: Adicionalmente, se requiere una canalización en la calzada izquierda.

3.2.12.4.2. Estación 2

Los cierres para la construcción de la Estación 2 contemplan tres etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 2, en la Etapa 1 sólo se requiere el cierre de obra de las manzanas donde se construirá la estación, sin ningún tipo de cierre vial. Por lo tanto, no hay previstos desvíos y/o vías alternas.

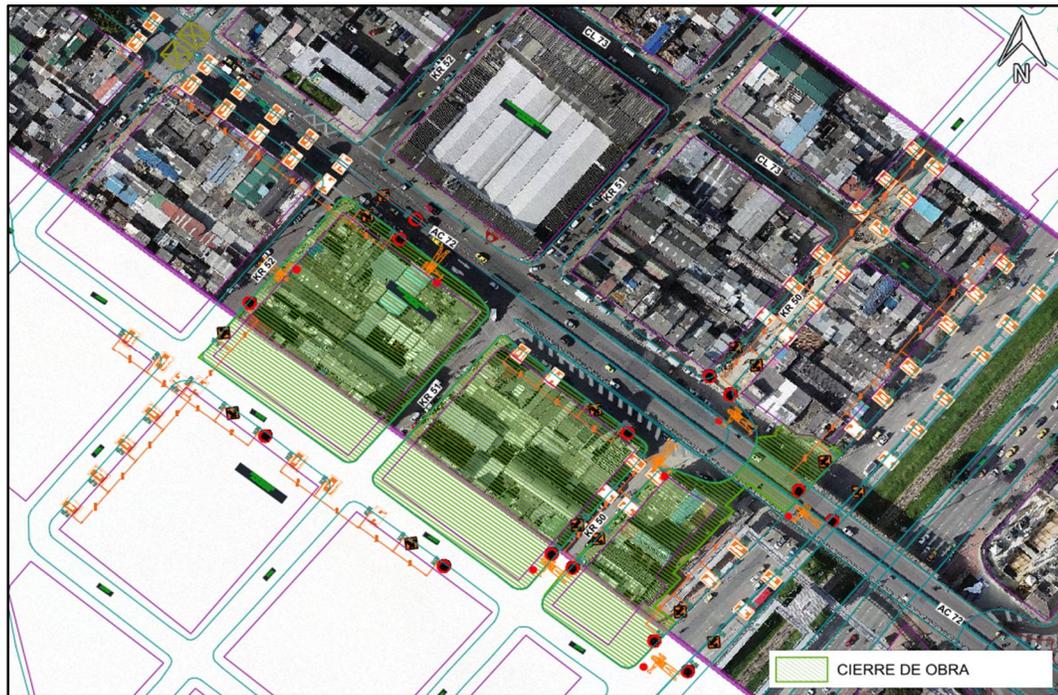


Figura 224. Cierres de obra en Estación 2 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se plantea el cierre de la Carrera 51 desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 71C y el cierre de la Carrera 50 desde la Avenida Calle 72 hasta la Calle 71C. Adicionalmente, en la Etapa 2 se requiere una serie de adecuaciones geométricas a lo largo de la Avenida Calle 72, indicadas en las siguientes imágenes:

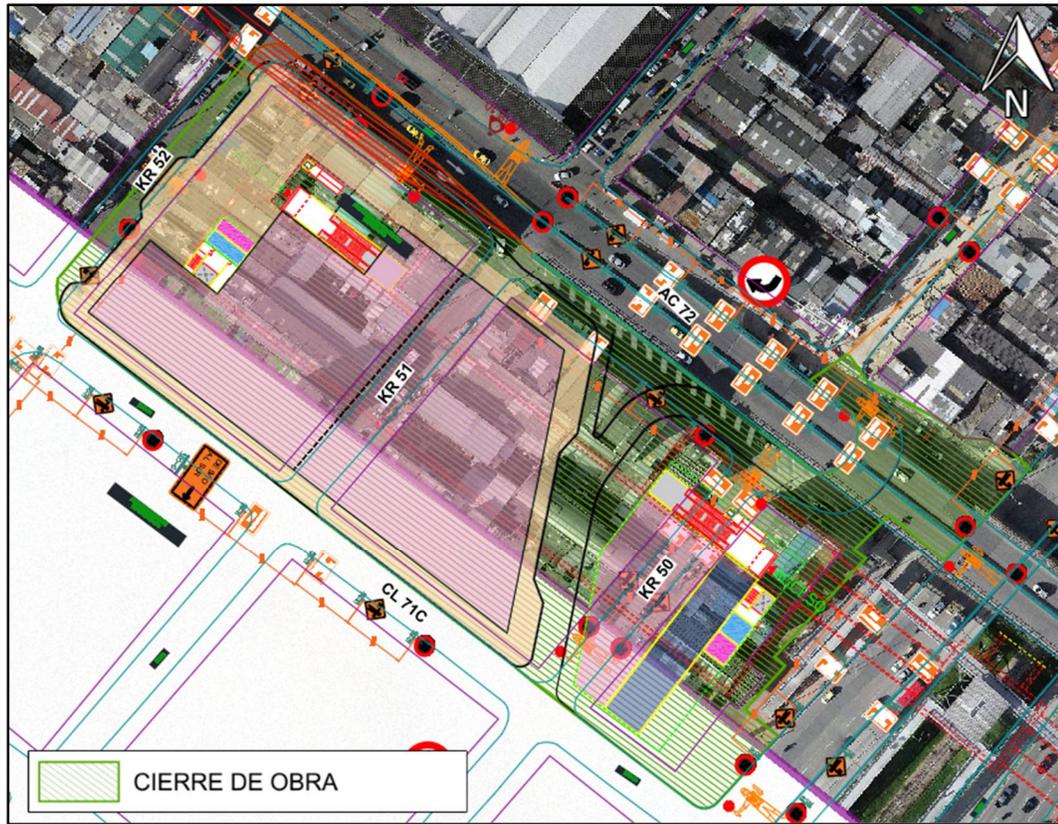


Figura 225. Cierres de obra en Estación 2 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

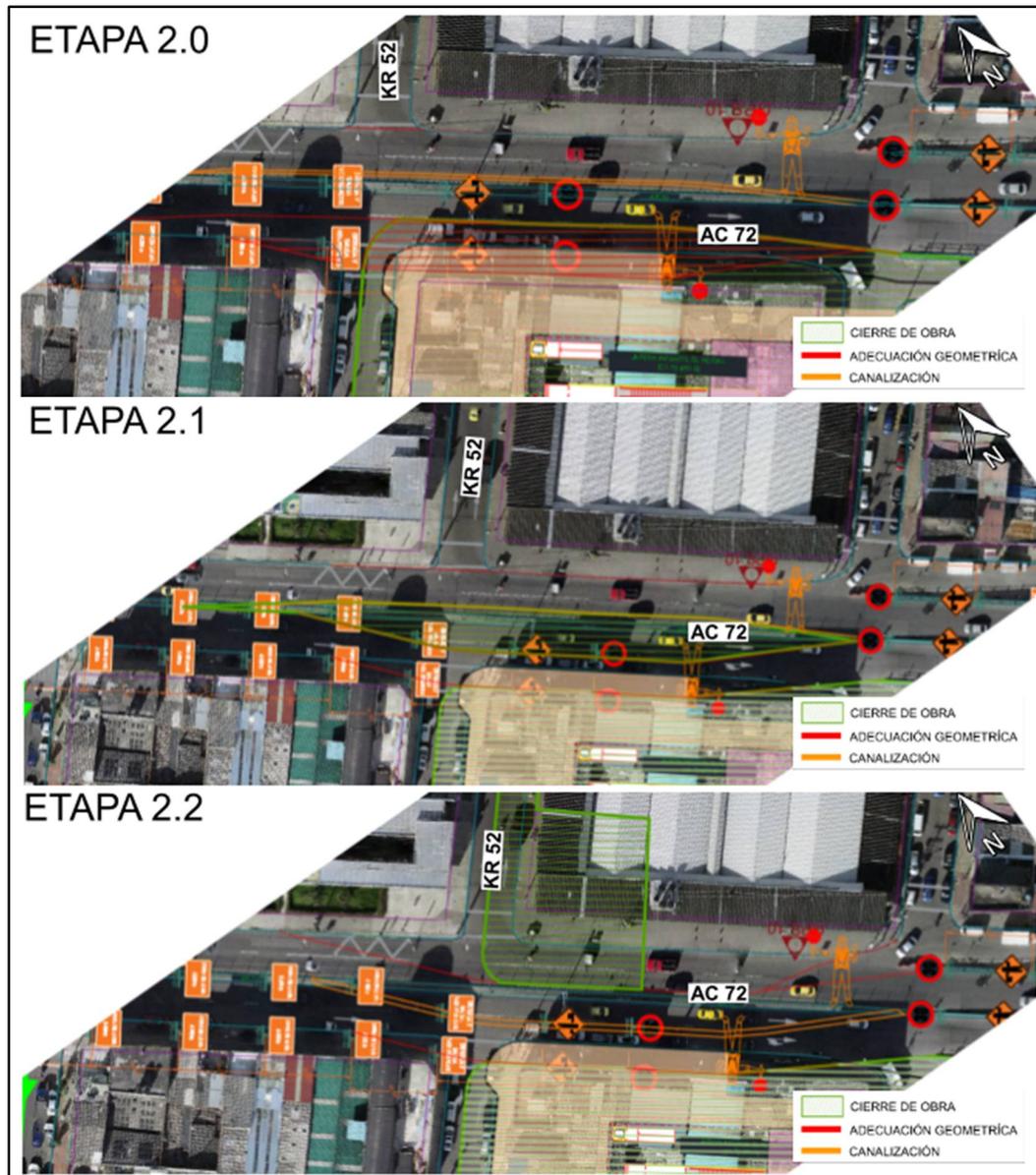


Figura 226. Adecuaciones Geométricas en Estación 2 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con las imágenes anteriores, en la Etapa 2.0 se procede a adecuar parte del andén sur de la Avenida Calle 72, comprendido por un área aproximada de 450 m². En la Etapa 2.1 la calzada izquierda de la Avenida Calle 72 se desplaza hacia el sur y el cierre de obra se ubica en el medio de las dos calzadas de esta misma vía. Finalmente, en la Etapa 2.2 la calzada izquierda se mantiene, la calzada derecha se desplaza hacia el sur y el cierre de obra se localiza en el costado norte de la Avenida Calle 72. Adicionalmente, se requiere una canalización en la calzada izquierda.

- Etapa 3

En esta etapa no se plantean cierres nuevos viales y sólo se mantendrán los cierres de las manzanas establecidos en la Etapa 1.

3.2.12.4.3. Estación 3

Los cierres para la construcción de la Estación 3 contemplan tres etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 3, en la Etapa 1 sólo se requiere el cierre de obra de las manzanas y zonas verdes donde se construirá la estación. No es necesario el cierre de ninguna vía y por lo tanto no se prevén desvíos y/o vías alternas.

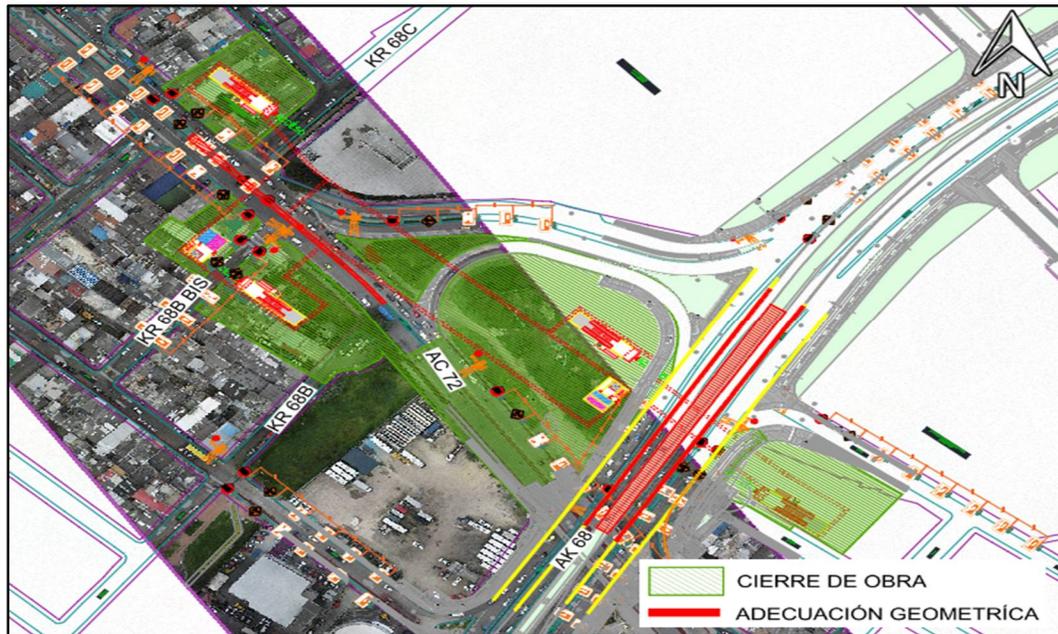


Figura 227. Cierres de obra en Estación 3 - Etapa 1.

Fuente: UT MOVIOUS 2022

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se requiere el cierre de la oreja en sentido Oriente-Sur desde la Avenida Calle 72 con Avenida Carrera 68 y el cierre de la conectante Norte-Occidente. Adicionalmente, la Etapa 2 prevé una serie de adecuaciones geométricas a lo largo de la Av. Carrera 68, Avenida Calle 72 y la oreja sentido Oriente - Sur, indicadas en las siguientes imágenes:

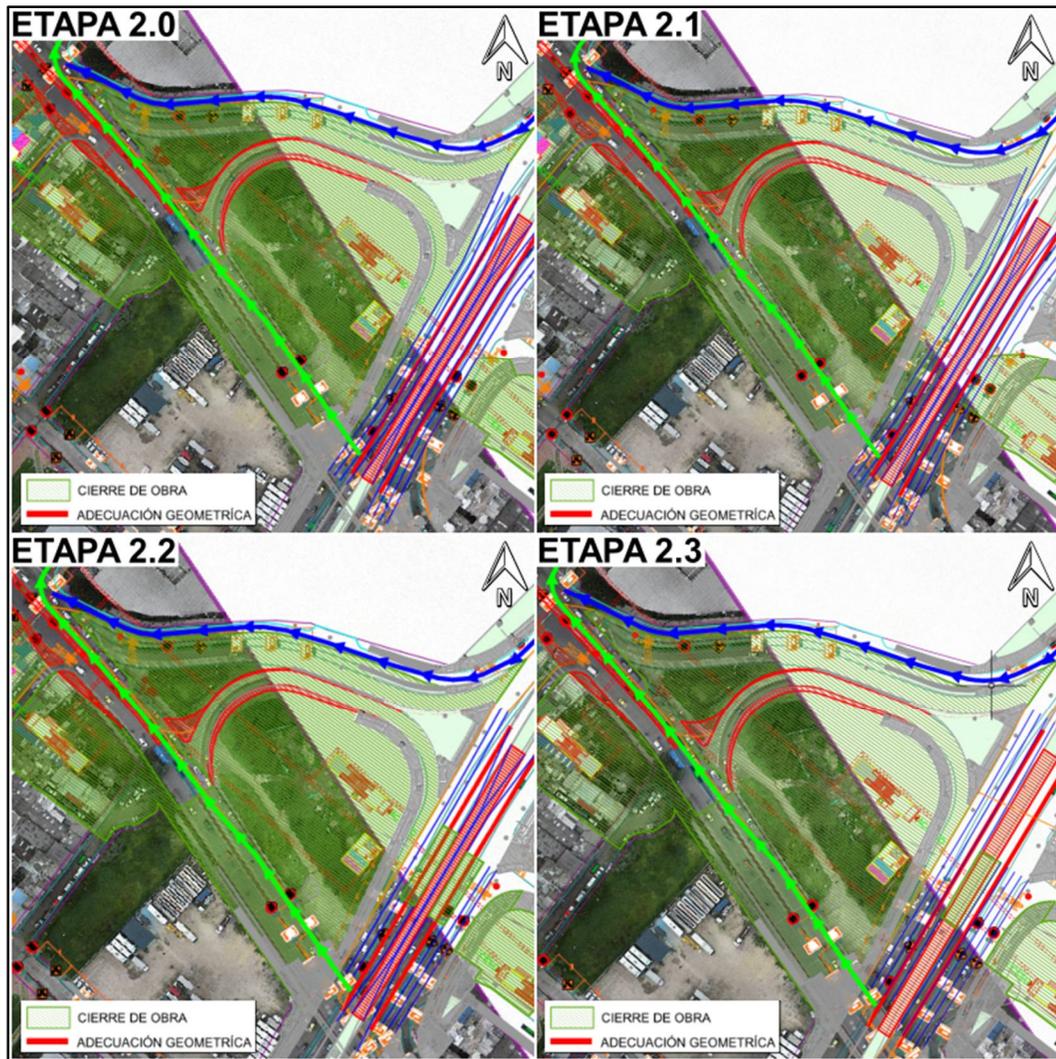
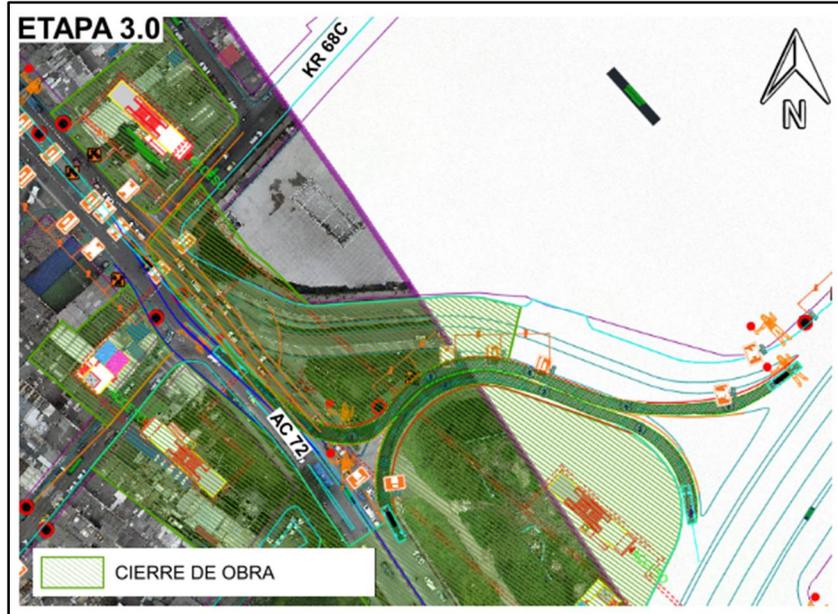


Figura 228. Adecuaciones Geométricas en Estación 3 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

De acuerdo con las imágenes anteriores, en la Etapa 2.0 la Avenida Calle 72 requerirá la adecuación de parte del andén sur en un área aproximada de 157 m², y el separador central en un área aproximada de 219 m². En la oreja, en sentido oriente - sur, se dismantelará parte del andén occidental y del andén oriental, en un área aproximada de 371 m². Sobre la Avenida Carrera 68 se adecuará parte del separador central en un área aproximada de 837 m². En la Etapa 2.1 se mantendrán las adecuaciones geométricas de la etapa anterior, garantizando sobre la Avenida Carrera 68, por medio de canalización, cuatro carriles en sentido norte y tres carriles en sentido sur, de aproximadamente 3,3 m de ancho. En todo momento se garantizarán los carriles exclusivos de BRT. En la Etapa 2.2 se establecerán dos cierres de obra sobre la Avenida Carrera 68 en sentido norte y en sentido sur. Finalmente, en la Etapa 2.3 se suspenderá uno de los dos cierres de obra sobre la Avenida Carrera 68 para seguir garantizando la operación de cuatro carriles en sentido norte y tres carriles en sentido sur.

- Etapa 3

En esta etapa, considerando las modificaciones geométricas realizadas en la Etapa 2, se requieren las adecuaciones indicadas en las siguientes imágenes:



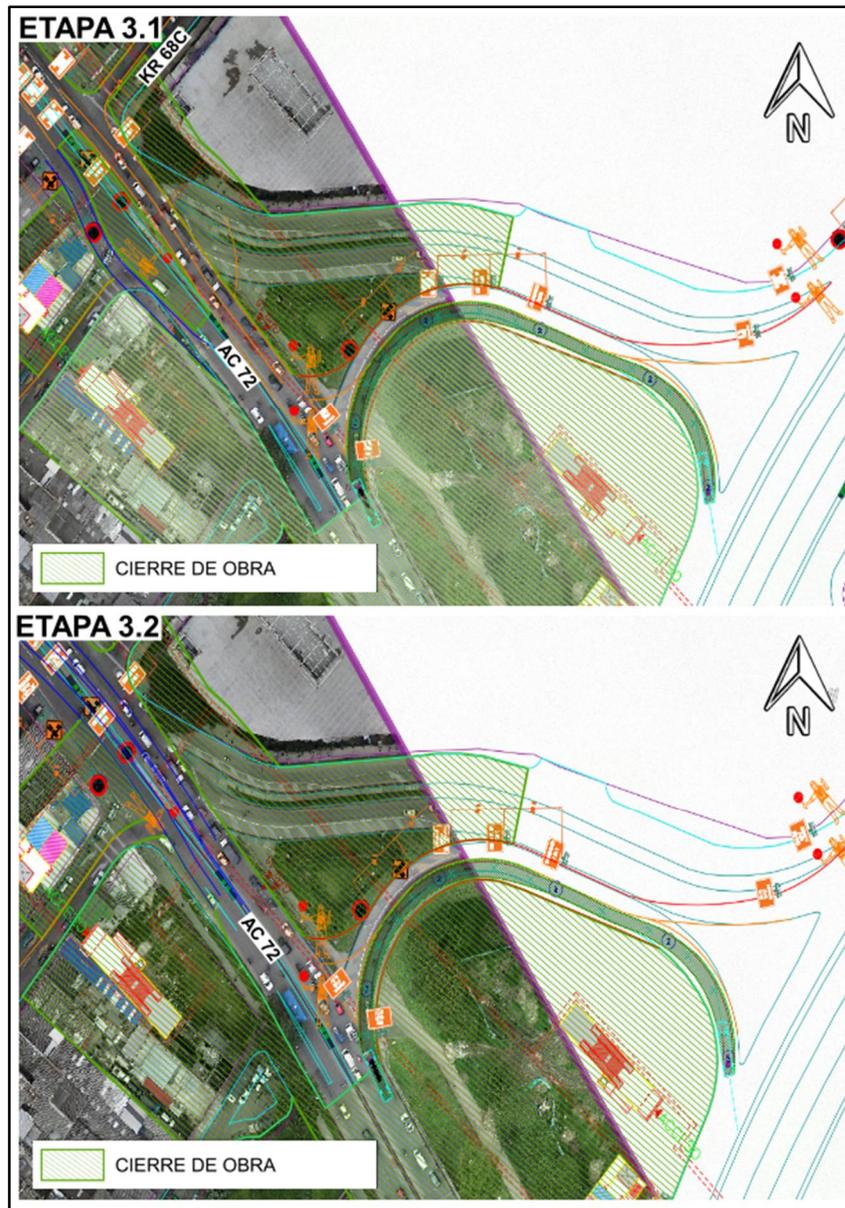


Figura 229. Adecuaciones Geométricas en Estación 3 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En esta etapa, el acceso en sentido oriente - sur de la oreja se adecúa geométricamente para que los vehículos que transiten por la Avenida Carrera 68 y se dirijan hacia el occidente lo puedan hacer por medio de esta última, puesto que los accesos del Almacén Alkosto harán parte del cierre de obra.

3.2.12.4.4. Estación 4

Los cierres para la construcción de la Estación 4 contemplan dos etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 4, en la Etapa 1 sólo se requiere el cierre de obras en manzanas y zonas verdes donde se construirá la estación. No es necesario el cierre de ninguna vía, y por lo tanto no se plantean desvíos y/o vías alternas. Sin embargo, la adecuación del separador central sobre la Avenida Calle 72 es indispensable, con un área aproximada de 150 m².

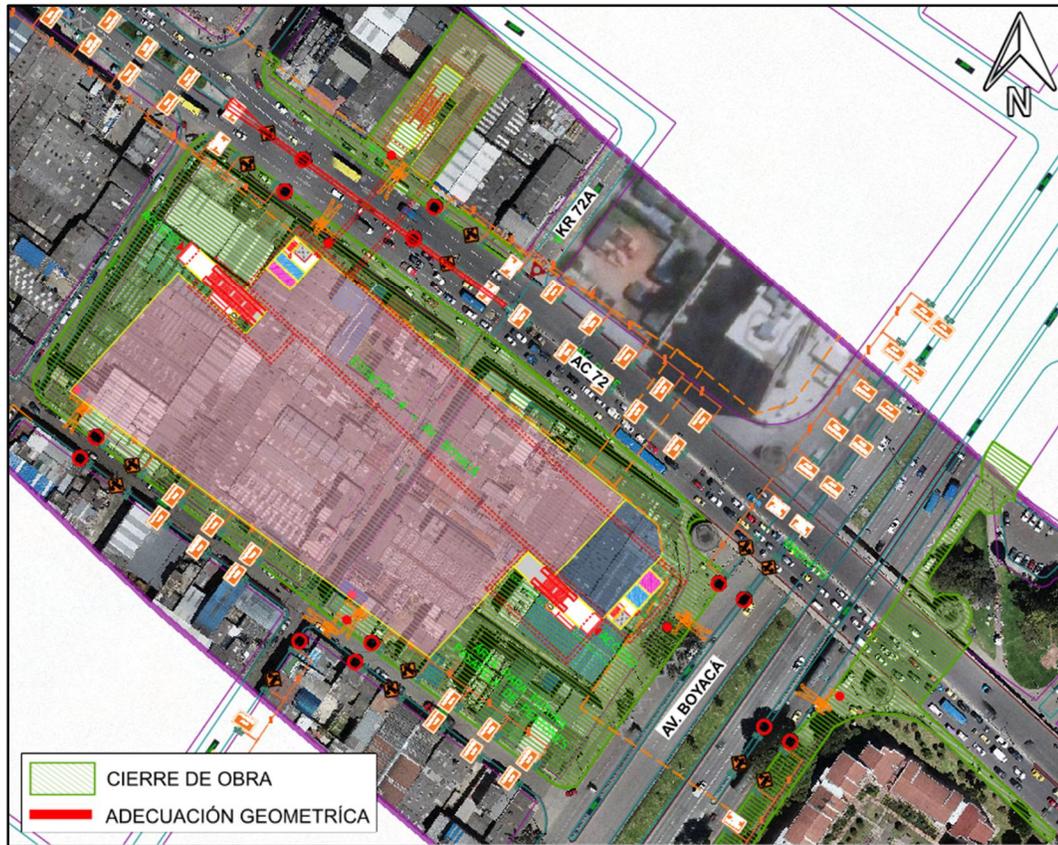


Figura 230. Cierres de obra en Estación 4 - Etapa 1.

Fuente: UT MOVIOUS 2022

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se continuarán los cierres de la Etapa 1, requiriéndose además la adecuación de una parte del andén norte sobre la Avenida Calle 72, con un área aproximada de 329 m².

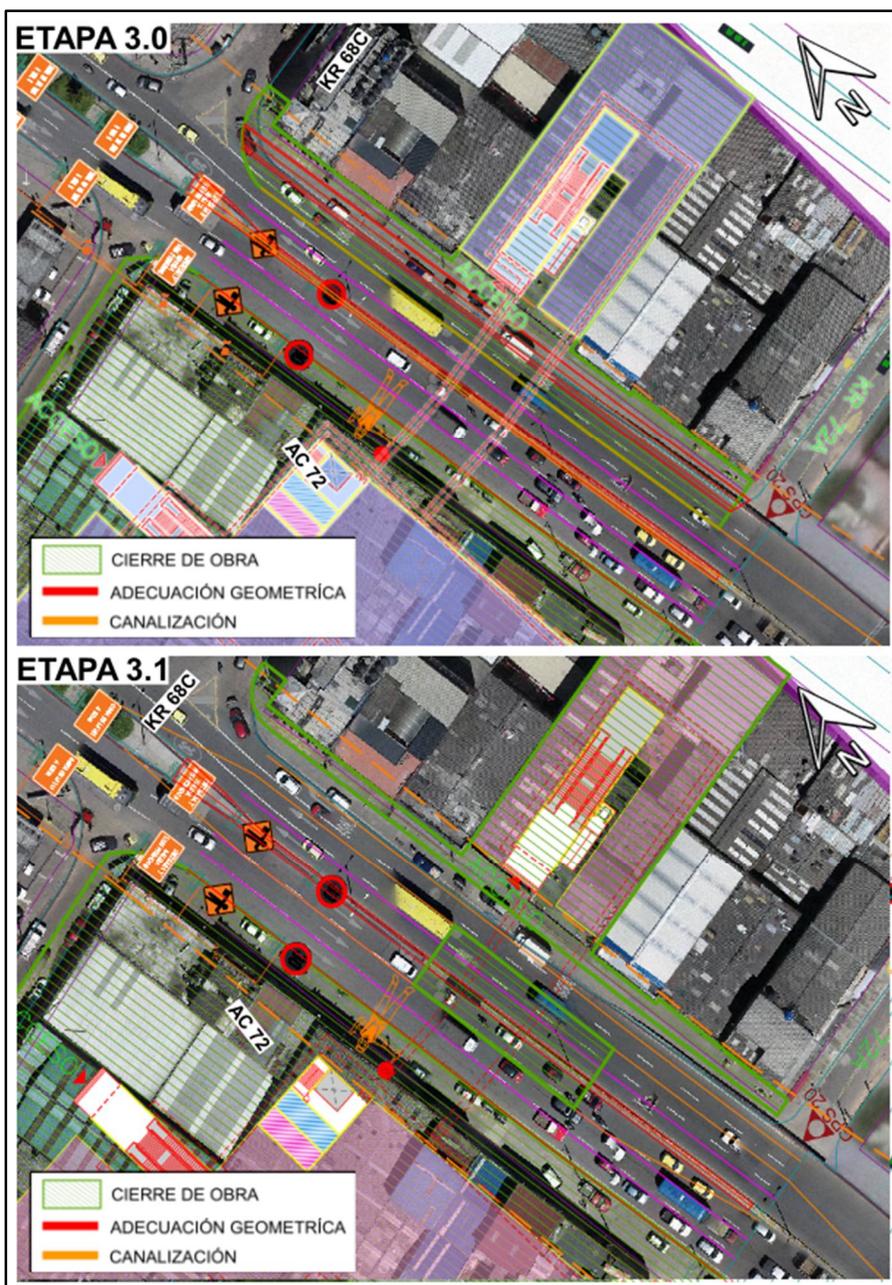




Figura 231. Adecuaciones Geométricas en Estación 4 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la etapa 2.0 se plantea la adecuación del andén del costado norte y la canalización vehicular sobre el separador central. En la etapa 2.1 se requiere un cierre de obra en medio de las calzadas vehiculares de la Avenida Calle 72, considerando sólo dos carriles por sentido. Finalmente, en la etapa 2.2 el cierre por obra se ubicará en la calzada sur de la Avenida Calle 72 y los carriles de esta última serán canalizados hacia el norte.

3.2.12.4.5. Estación 5

Los cierres para la construcción de la Estación 5 contemplan una sólo etapa.

- Etapa 1

Para la Estación 5, en la Etapa 1 únicamente se considera el cierre de obra de las manzanas donde se construirá la estación, sin ningún tipo de cierre vial.

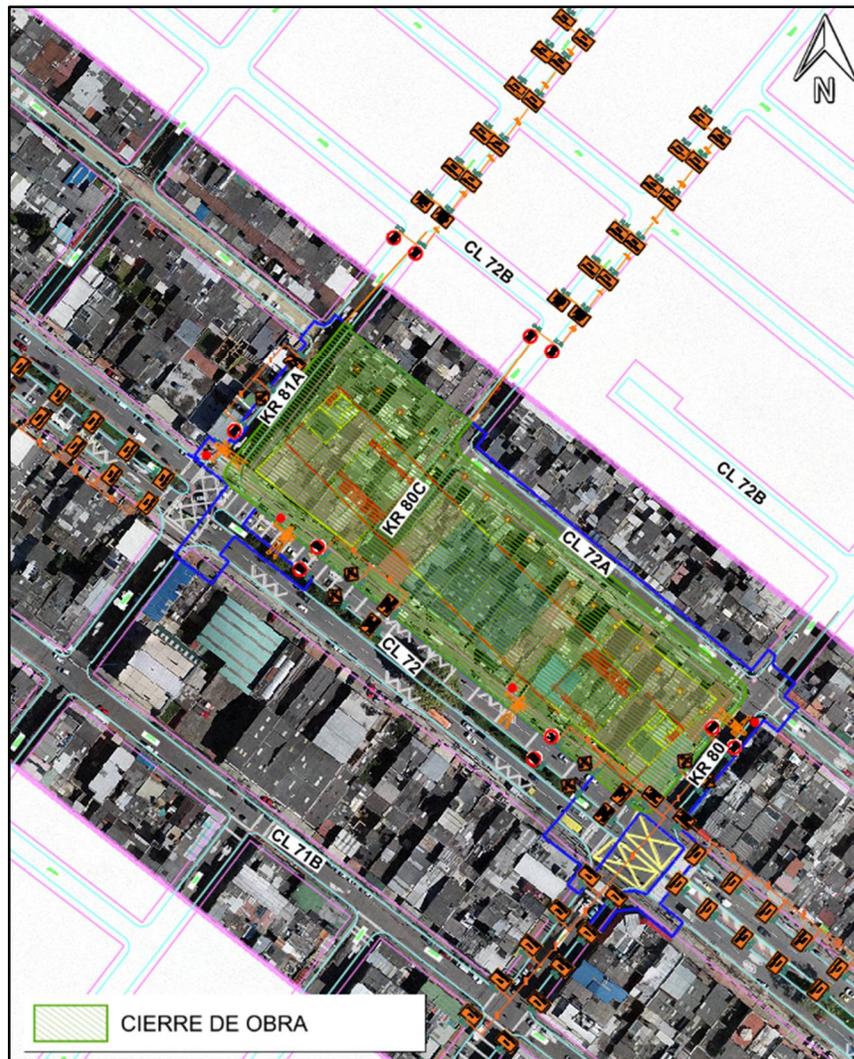


Figura 232. Cierres de obra en Estación 5 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.4.6. Estación 6

Los cierres para la construcción de la Estación 6 contemplan dos etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 6, en la Etapa 1 se considera el cierre de obra de las manzanas donde se construirá la estación, sin ningún tipo de cierre vial. Sin embargo, se realizarán las adecuaciones geométricas indicadas a continuación.



Figura 233. Cierres de obra en Estación 6 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

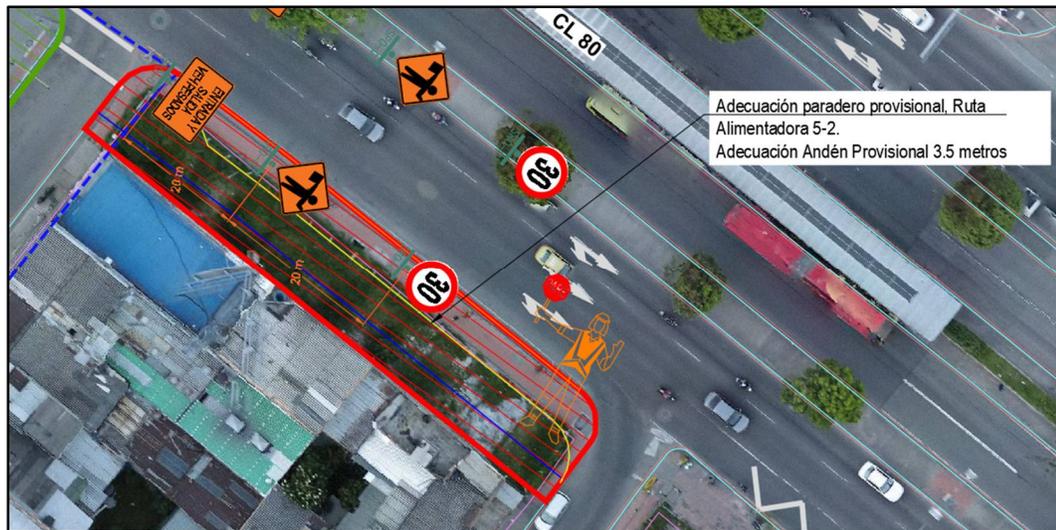


Figura 234. Adecuaciones Geométricas en Estación 6 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

En la figura anterior las adecuaciones geométricas del paradero provisional de la ruta alimentadora 5-2 y del andén provisional de 3.5 metros tienen un área aproximada 480 m².

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se considera el cierre de la Calle 77A y Cl 78 desde la Avenida Carrera 86 hasta Carrera 85.

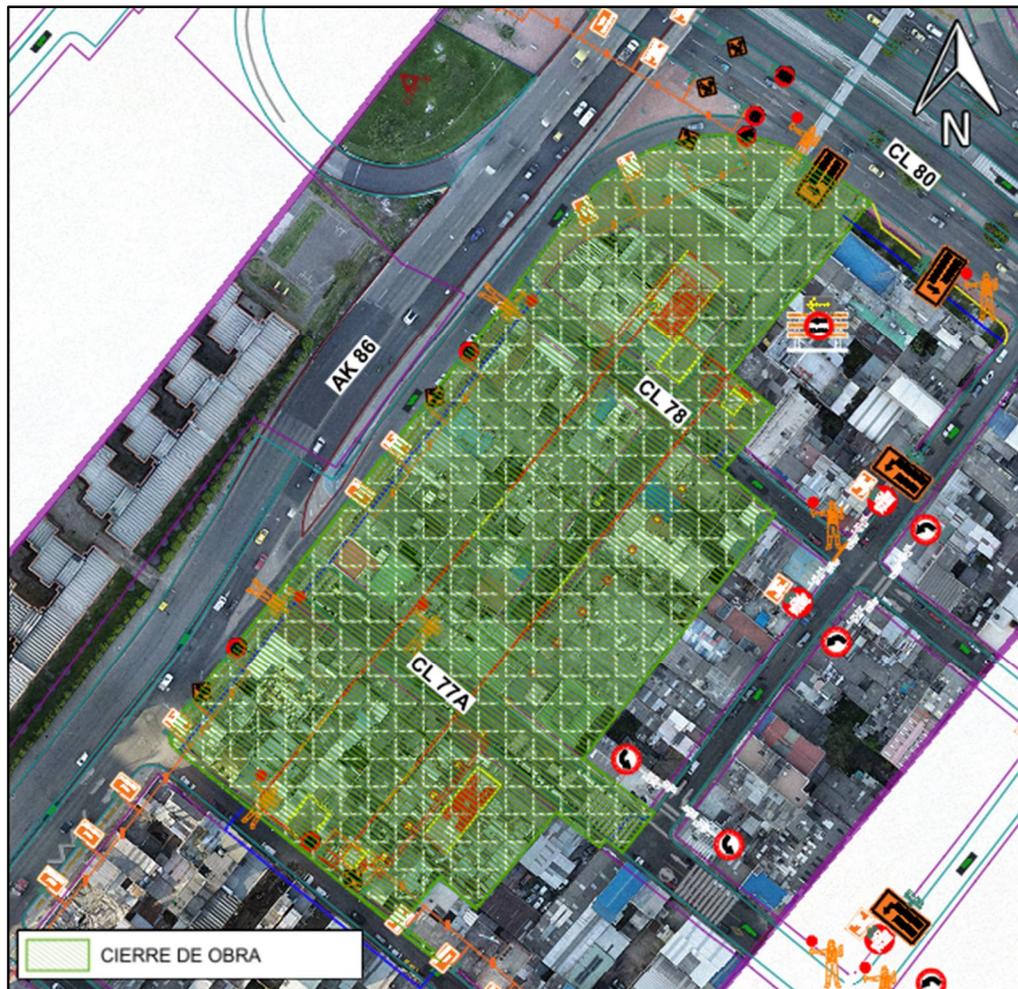


Figura 235. Cierres en Estación 6 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.4.7. Estación 7

Los cierres para la construcción de la Estación 7 contemplan tres etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 7, en la Etapa 1 se plantea el cierre de obra de las manzanas donde se construirá la estación, sin ningún tipo de cierre vial. Por lo tanto, no se requieren desvíos y/o vías alternas. Sin embargo, se realizarán las adecuaciones geométricas indicadas a continuación..



Figura 236. Cierres de obra en Estación 7 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

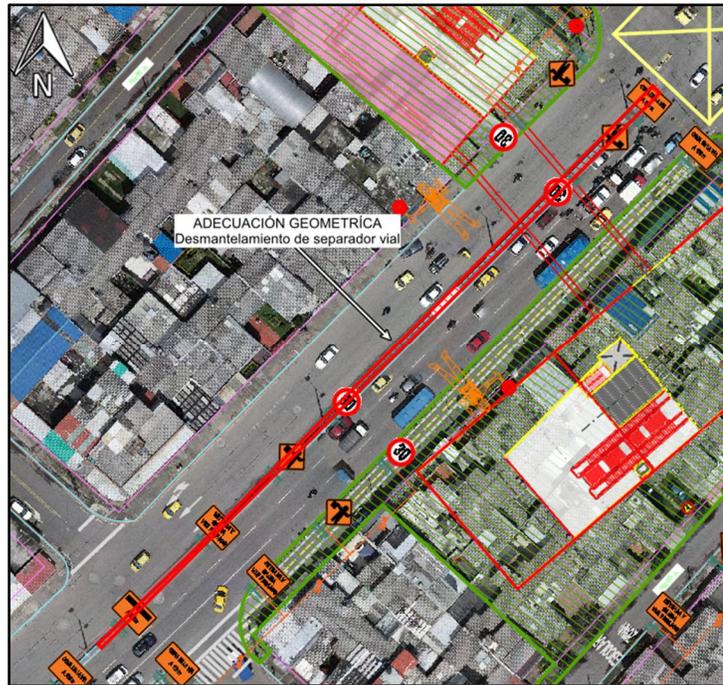


Figura 237. Adecuaciones Geométricas en Estación 7 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 238. Adecuaciones Geométricas en Estación 7 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

Las adecuaciones geométricas se llevarán a cabo en el separador central sobre la Avenida Carrera 86, en un área aproximada de 241 m².

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se plantea el cierre de la calzada sur de la Calle 90 en sentido Occidente - Oriente desde la Avenida Carrera 86 y la Carrera 85A. Adicionalmente, teniendo en cuenta la adecuación realizada en la Etapa 1, se requieren adecuaciones geométricas complementarias a lo largo de la Avenida Carrera 86, como se indica en las siguientes imágenes:

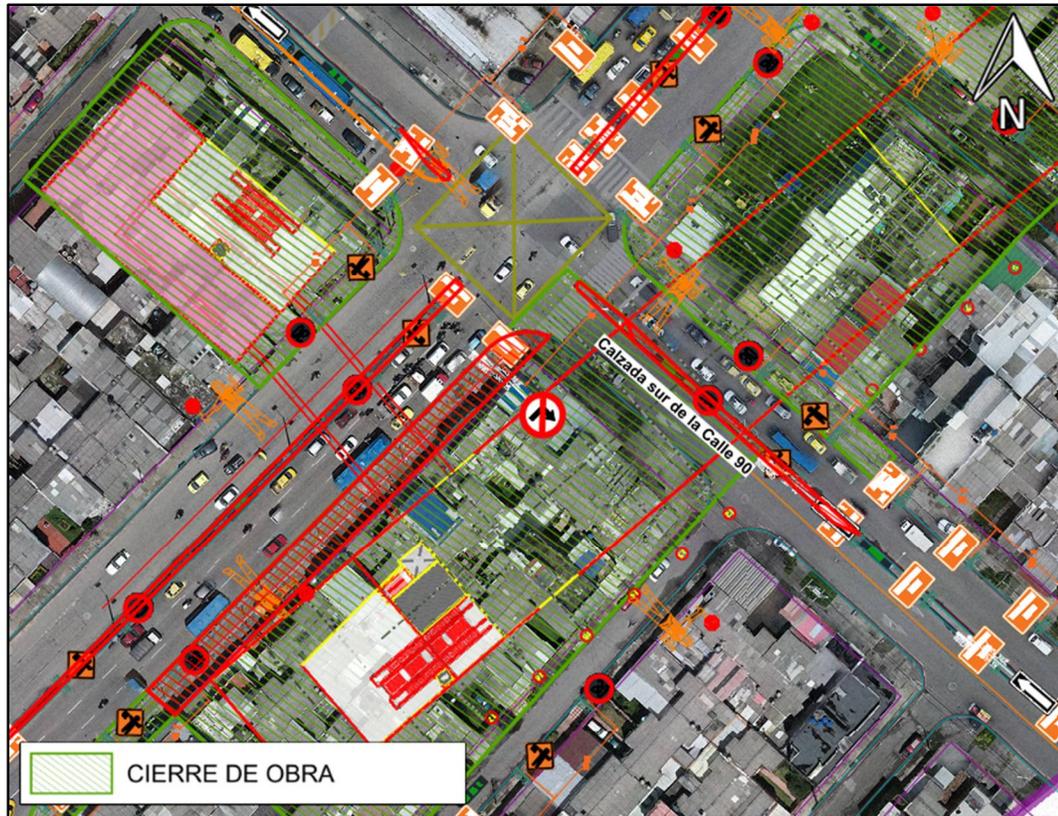


Figura 239. Cierres de obra en Estación 7 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIOUS 2022

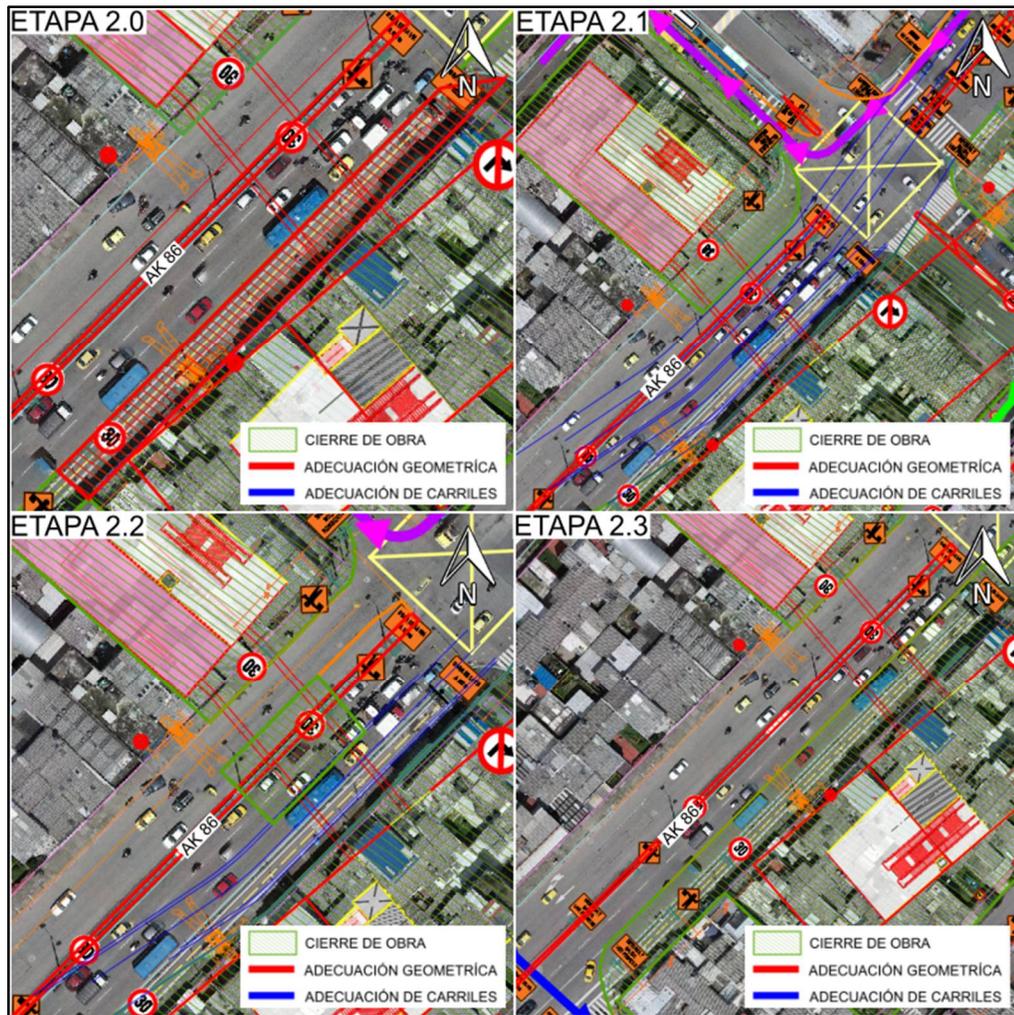


Figura 240. Adecuaciones Geométricas en Estación 7 - Etapa 2.

Fuente: UT MOVIUS 2022

De acuerdo con las imágenes anteriores, en la etapa 2.0, en la Avenida Carrera 86 se requiere adecuar parte del andén oriental comprendido en un área aproximada de 473 m². En la etapa 2.1 se mantienen las adecuaciones geométricas de la etapa anterior, garantizando en la Avenida Carrera 68 tres carriles de circulación en sentido norte - sur y tres carriles en sentido sur - norte, cada uno de aproximadamente 3,3 m de ancho. En la etapa 2.2 se establecerá cierre de obra en el centro de la Avenida Carrera 86, pero manteniendo los seis carriles de circulación. Finalmente, en la etapa 2.3 se suspenderá el cierre de obra de la etapa 2.2, e igualmente se suspenderá un carril de circulación en sentido sur - norte para establecer el cierre de obra sobre el costado oriental de la Avenida Carrera 86.

- Etapa 3

De acuerdo con las modificaciones geométricas realizadas en la Etapa 2, en esta etapa se plantea lo indicado en la siguiente imagen:

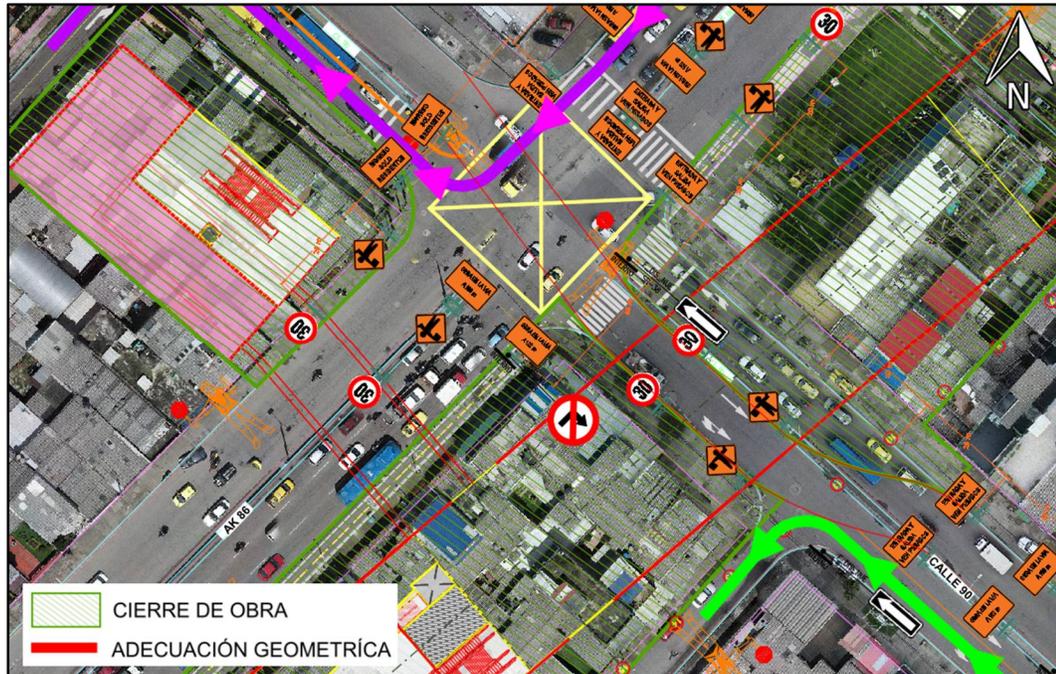


Figura 241. Adecuaciones Geométricas en Estación 3 - Etapa 3.

Fuente: UT MOVIOUS 2022

Como se aprecia, los carriles de circulación sobre la Calle 90 se modifican geoméricamente, desplazándolos hacia el sur para permitir el cierre de obra sobre el costado norte de la Calle 90.

3.2.12.4.8. Estación 8

Los cierres para la construcción de la Estación 8 contemplan dos etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 8, en la Etapa 1 se requiere el cierre de las manzanas donde se construirá la estación, sin ningún tipo de cierre vial. Por lo tanto, no se plantean desvíos y/o vías alternas.



Figura 242. Cierres de obra en Estación 8 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 2

Para la Etapa 2 se plantea el cierre de la Calle 127B desde la Carrera 93C hasta la Carrera 95.

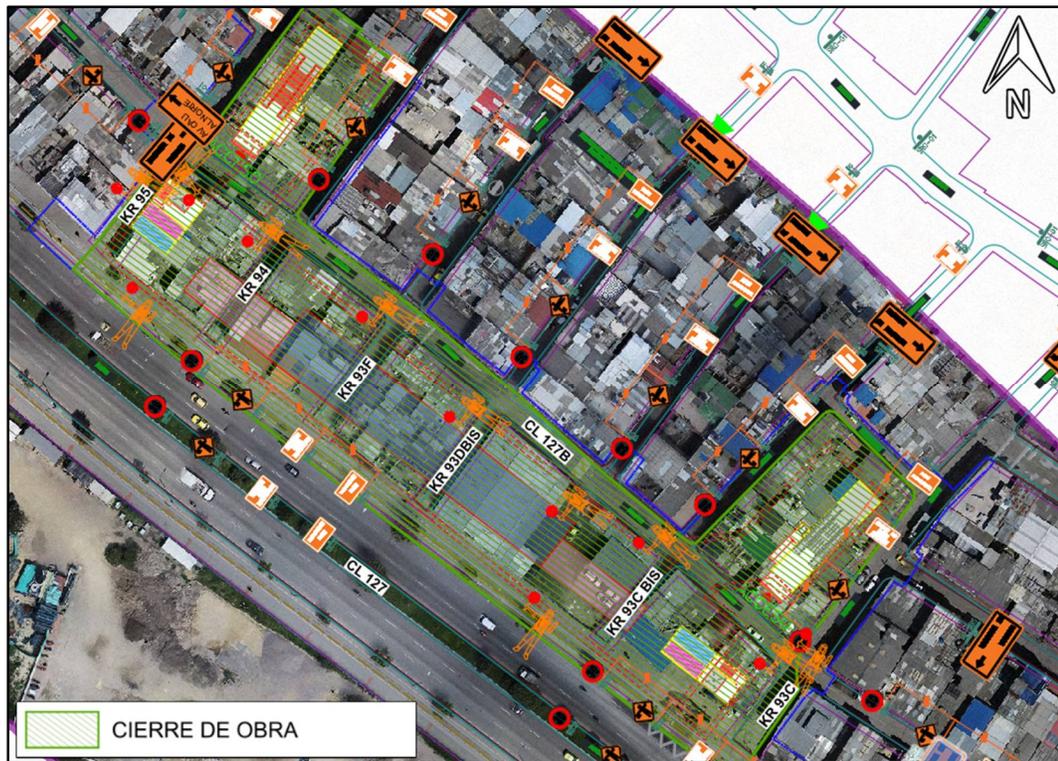


Figura 243. Cierres de obra en Estación 8 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.4.9. Estación 9

Los cierres para la construcción de la Estación 9 contempla una sola etapa.

- Etapa 1

Para la Estación 9, en la Etapa 1 se requiere el cierre de la reserva vial de la ALO, sin ningún tipo de cierre vial. Por lo tanto, no se plantean desvíos y/o vías alternas.

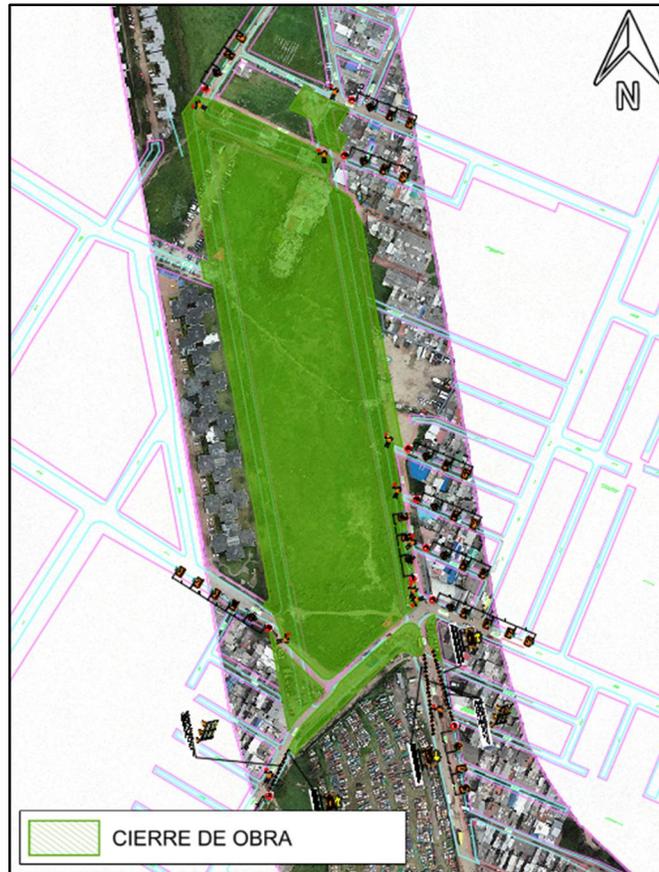


Figura 244. Cierres de obra en Estación 9 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.4.10. Estación 10

Los cierres para la construcción de la Estación 10 contemplan una sólo etapa.

- Etapa 1

Para la Estación 10, en la Etapa 1 sólo se requiere el cierre de obra de la reserva vial de la ALO, sin ningún tipo de cierre vial. Por lo tanto, no se plantean desvíos y/o vías alternas. Sin embargo, se requiere la adecuación de la Calle 139 en un área aproximada de 1526 m² que incluye el desplazamiento de la calzada hacia el norte para generar un carril para el flujo vehicular, y la posterior adecuación vial de la Calle 139.



Figura 245. Cierres de obra en Estación 10 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.4.11. Estación 11

Los cierres para la construcción de la Estación 11 contemplan tres etapas:

- Etapa 1

Para la Estación 11, en la Etapa 1 se plantea el cierre de obra de la reserva vial de la Av Suba, sin requerir ningún tipo de cierre vial.



Figura 246. Cierres de obra en Estación 11 - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 2

Para la Etapa 2, se plantea el cierre de la Carrera 141B desde la Calle 144C hasta la Calle 145A.



Figura 247. Cierres de obra en Estación 11 - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 3

Para la Etapa 3, se plantea el cierre de la Carrera 145 desde la Calle 144C hasta la Calle 145A.



Figura 248. Cierres de obra en Estación 11 - Etapa 3.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.12.4.12. Ingreso de la tuneladora

Los cierres para el ingreso de la tuneladora contemplan dos etapas:

- Etapa 1

Para el ingreso de la tuneladora en la Etapa 1 se plantea el cierre en zonas verdes y de la Avenida Calle 145 sin cerrar el acceso a los conjuntos residenciales Yerbamora Reservado (Calle 145 #128-41) y Tayazal de Suba (Av Calle 145 #128-40).



Figura 249. Cierres de obra para el Ingreso de Tuneladora - Etapa 1.
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Etapa 2

Para el ingreso de la Tuneladora en la Etapa 2 se plantea el cierre de la Carrera 136A sobre la Avenida Calle 145.

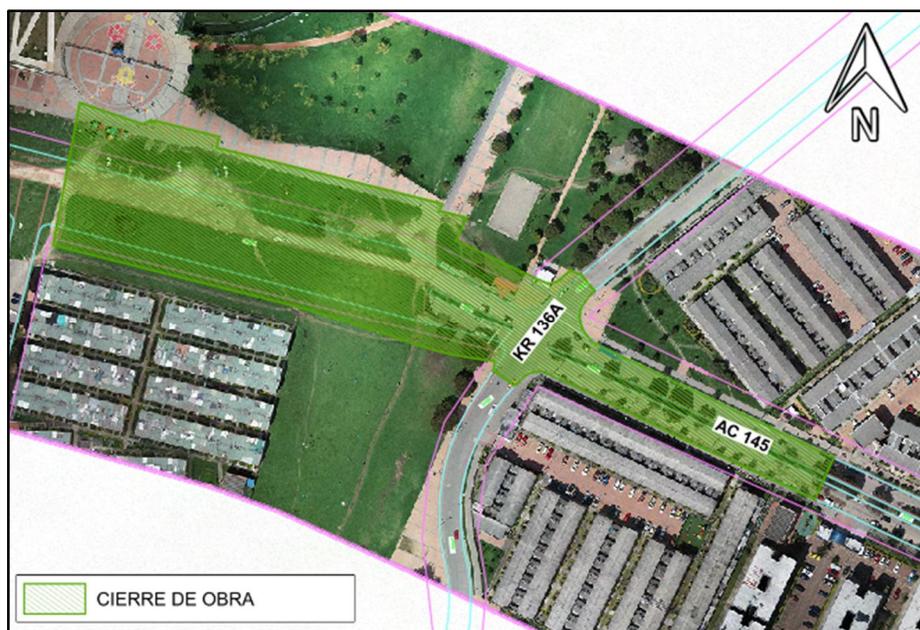


Figura 250. Cierres de obra para el Ingreso de Tuneladora - Etapa 2.
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.13. Material rodante, equipos y sistema metro ferroviarios

Las características de los vehículos con los cuales operará el sistema son las siguientes:

Tabla 78. Características técnicas del material rodante

Características	Datos
1. Tipo de material rodante	Metro
2. Tipo de operación	Automática con CBTC
3. Localización de la línea	Bogotá
4. Número de coches por tren	7
5. Configuración de los trenes	MC-T-M-M-M-T-MC (configuración con 7 coches) - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
6. Capacidad de pasajeros:	
6.1. Capacidad del tren a 6p/m ² (px)	1778 mínima
6.2. Capacidad por coche (px)	Mc: 268, T/M: 253 (configuración con 7 coches)
6.3. Asientos por coche (px)	Mc: 36, T/M: 36 (configuración con 7 coches)

Características	Datos
6.4. Pasajeros de pie (px)	Mc: 232, T/M: 217 (configuración con 7 coches)
7. Dimensiones generales	
7.1. Longitud del tren	145 m máximo
7.2. Longitud de los coches	20m - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
7.3. Altura de los coches	3,89 m - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
7.4. Anchura de los coches	2,9 m - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
7.5. Distancia del pivote del bogie	Por definir
7.6. Distancia entre ejes	+/- 2,1 m
7.7. Altura del piso	1100 mm 0/+50 mm
7.8. Altura del enganche	Por definir
7.9. Ancho de vía	1435 mm
7.10. Diámetro de las ruedas (mm)	Max: 860, Min: 790
8. Puertas	
8.1. Número de puertas por lado por coche	4
8.2. Dimensiones de las puertas	1600 mm x 1900 mm
8.3. Distancia de las puertas	por definir
9. Carga máxima por eje	18 ton /eje máximo
10. Alimentación	1500 Vcc
11. Prestaciones dinámicas	
11.1. Velocidad máxima de servicio UTO (km/h)	80 km/h
11.2. Aceleración (m/s ²)	0,86 m/s ² (1,2 m/s ² de 0 a 35 km/h)
11.3. freno de urgencia	-1,3 m/s ²
11.4. Freno de servicio	-1 m/s ²
11.5. Jerk de tracción	Inferior a 1 m/s ³

Fuente: UT MOVIUS 2022

- Los vehículos, incluidos todos sus subsistemas y equipos, serán de diseño probado, es decir comparables con productos estándares ya producidos en el mundo, con soluciones probadas y modernas.

- Su vida útil será de al menos 40 años y 5 millones de km.
- Los subsistemas y equipos instalados demostrarán su fiabilidad en líneas y redes de metros que se encuentren en operación desde hace por lo menos 3 años.
- Los vehículos estarán dotados del nivel de automatización GOA 4.
- El sentido normal de circulación de los vehículos será el lado derecho. Sin embargo, para efectos de funcionamiento, los vehículos tendrán la posibilidad de circular tanto por el lado derecho como por el izquierdo.
- Se posibilitará el rescate de un vehículo averiado por otro vehículo.
- Los vehículos operarán sin restricciones a las condiciones ambientales y climáticas específicas de Bogotá. Los rangos de temperatura cumplirán con la clase T1 según la norma EN 50125-1, con el requisito especial de considerar -10°C en lugar de -25°C como temperatura mínima.
- Podrán ser estacionados al aire libre, independientemente de las condiciones atmosféricas.
- Funcionarán normalmente después de su permanencia en condiciones de intemperie (calor, sol, etc.).
- No se fabricarán con materiales perjudiciales para el medio ambiente y podrán desmontarse al final de su ciclo de vida.
- La operación nominal se realizará con un vehículo compuesto por siete coches.
- La capacidad de los vehículos y su reparto entre pasajeros sentados y pasajeros de pie será la siguiente:

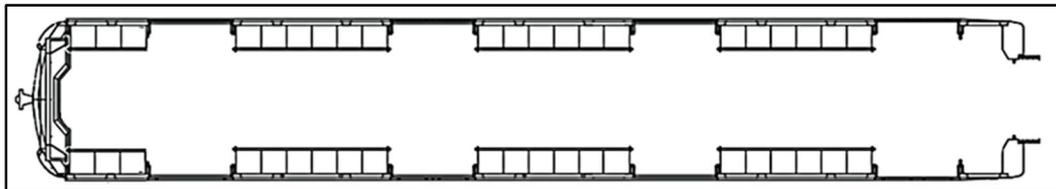
Tabla 79. Configuración de 7 coches en carga normal de 6 pasajeros de pie / m²

Criterios básicos	7 coches
Pasajeros sentados	252
Pasajeros de pie	1.594
Total pasajeros	1.846 (sin PRM)

Fuente: UT MOVIOUS 2022

- Los vehículos serán de tecnología probada, de última generación.
- Serán seguros, fiables, duraderos, dotados de una redundancia adecuada, fáciles de usar y atractivos, con capacidad para satisfacer las demandas previstas, buenas cualidades de conducción y comodidad para los usuarios, incluido un bajo nivel de ruido.
- Dispondrán de acabados exteriores e interiores atractivos de material apropiado resistente al fuego y retardante que envejezca de manera adecuada.
- Garantizarán una alta disponibilidad, con bajos costes de mantenimiento a lo largo de todo el ciclo de vida, un bajo desgaste de las ruedas, un mantenimiento mínimo, una alta intercambiabilidad de piezas y componentes modulares con pocos tiempos de indisponibilidad, basados en diagnósticos adecuados y en unos tiempos mínimos de sustitución de componentes.

- Garantizarán un fácil acceso para personas discapacitadas con silla de ruedas y personas que lleven coches de niños.
- Dispondrán de un alto rendimiento y satisfarán las demandas de pendientes y de curvas tanto en funcionamiento normal como degradado y de emergencia, optimizando el equilibrio entre el tiempo de viaje, el número total de vehículos, el consumo de energía, el suministro de energía, el equipo de tracción y los ejes motorizados.
- Ofrecerán facilidad de limpieza exterior e interior y se verán libres de trampas de suciedad y polvo.
- Su apariencia exterior, y el módulo frontal, será de perfil moderno y estéticamente agradable, con acabados de alto nivel.
- La zona de pasajeros podrá transportar todo tipos de viajeros, incluidos inválidos, niños, pasajeros con equipaje, personas mayores, personas con discapacidades leves y discapacitados, así como personas no ambulantes en silla de ruedas.
- La configuración de los asientos será de tipo longitudinal para lograr la capacidad de transporte.
- Se dispondrá de un total de dos espacios para sillas de ruedas por tren.



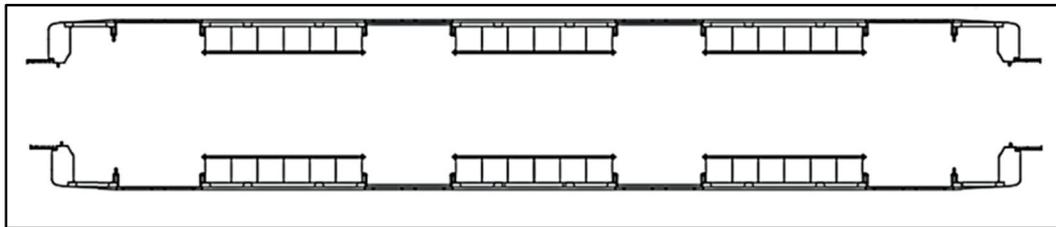
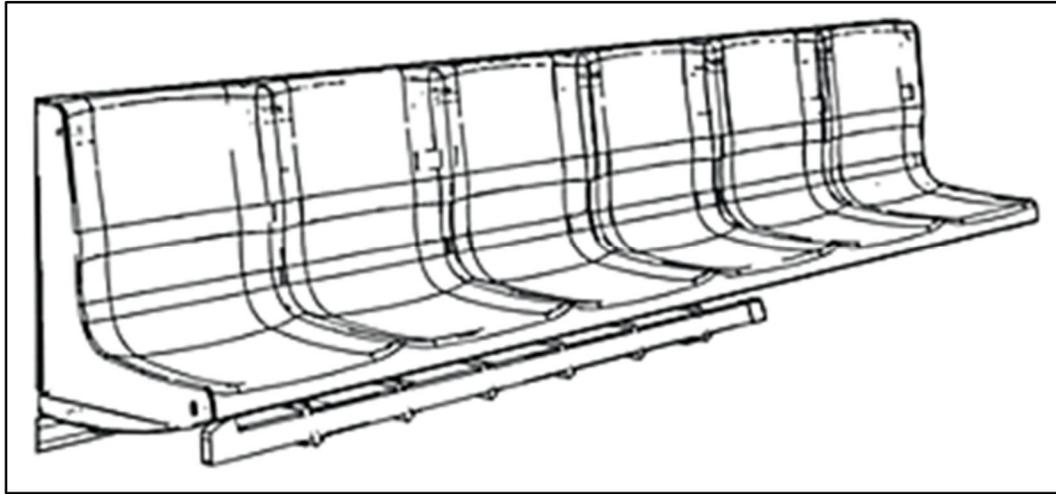


Figura 251. Arreglo de asientos
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Los pasajeros transportados podrán moverse dentro de todo el vehículo (incluidas las zonas de pasillo) sin ningún obstáculo fijo en su camino, tales como componentes del vehículo o asientos.

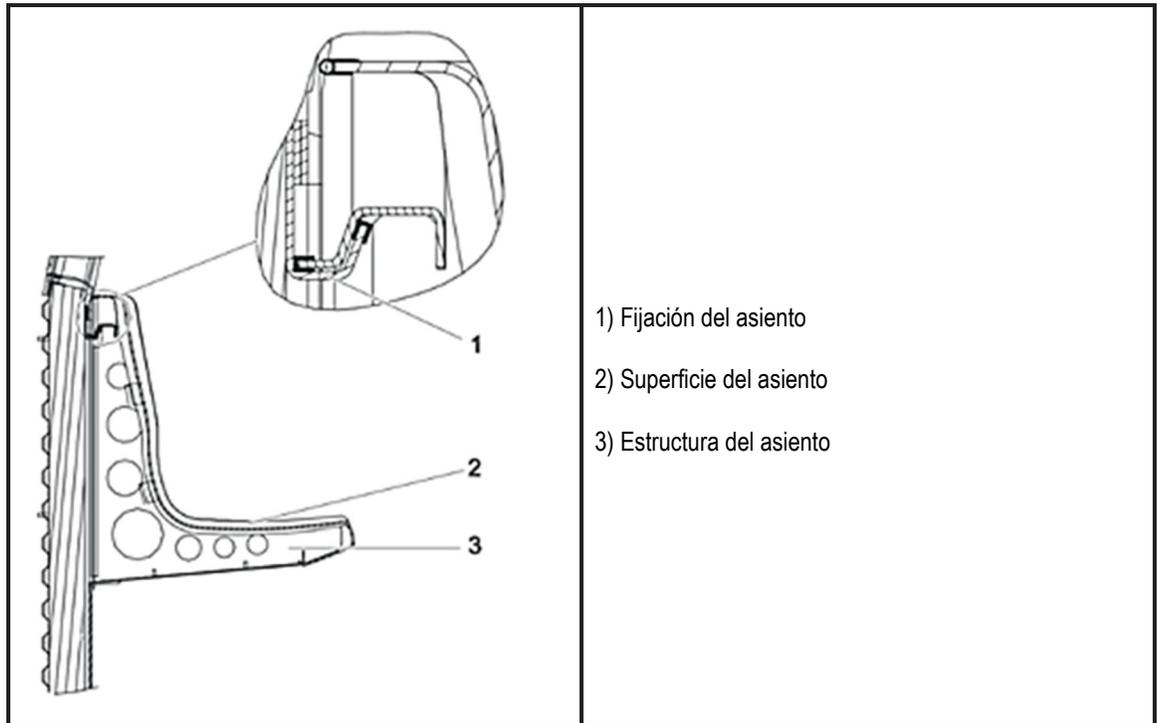


Figura 252. Fijación de un asiento
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Las zonas de uso especial para la silla de ruedas y los coches de bebé se situarán contra la pared lateral adyacente a una puerta y estarán equipadas con un soporte ciático que se empleará cuando no haya ninguna persona con una necesidad especial.
- La combinación de colores del interior maximizará la visibilidad. Dispondrá de colores contrastados para mejorar la visibilidad de las personas con discapacidad visual.
- En lo relacionado con la transferencia de pasajeros entre vehículos y andenes de estación:
 - Se posibilitará el transbordo en el menor tiempo posible.
 - Los espacios vacantes se distribuirán uniformemente en toda la longitud del vehículo.
 - Se garantizará una transferencia segura y cómoda.
 - Se dispondrá de aperturas amplias.
 - Se disminuirán al máximo los tiempos de apertura y cierre de las puertas.
- En lo relacionado con las puertas de los vehículos:
 - Se espera una tasa de transferencia de alrededor del 20-30% (tasa de la longitud total de las aperturas de las puertas respecto a la longitud del vehículo), ofreciendo un intercambio de

pasajeros fácil y rápido en las estaciones para satisfacer los tiempos de permanencia especificados y el tiempo de ida y vuelta previsto.

- Las puertas de pasajeros permitirán la evacuación completa del tren cargado en EL4 en menos de 30 segundos. En cada lado, el vagón dispondrá de al menos 4 puertas de doble hoja de una anchura mínima de 1.600 mm, situadas una frente a la otra.
- El flujo mínimo de pasajeros por puerta será de 80 pasajeros/minuto.
- La altura de apertura de las puertas será de al menos 1,95 m.
- Los tiempos de apertura y cierre, incluido el bloqueo de las puertas, serán de hasta 3 segundos, pero ajustables.
- La diferencia de altura máxima hacia arriba entre el andén y la entrada del vehículo será de 50 mm. La diferencia hacia abajo será de 0 mm.
- La diferencia horizontal entre el umbral del vehículo y el borde del andén estará limitada a 50 mm.
- Los materiales, componentes y construcción cumplirán las normas y códigos aplicables en materia de seguridad contra incendios, así como la norma EN 45545 con categoría de funcionamiento 2.
- Cada compartimento de pasajeros tendrá detectores de humo que cuando se activen enviarán una alarma al puesto de conducción de emergencia.
- La propagación del fuego se evitará mediante barreras contra el fuego en el suelo, las paredes de los laterales y los extremos, así como en las carcasas de los equipos resistentes al fuego. El suelo del tren proporcionará una barrera contra el fuego ensayada de acuerdo con la norma EN 45545-3. Cada coche dispondrá de un extintor.
- No habrá interferencias con los distintos componentes de sistemas (sistemas electrónicos y de telecomunicaciones). La compatibilidad de las interferencias electromagnéticas de los vehículos estará ajustada a la serie EN 50121.
- El índice de confort (índice entre el número de asientos y la capacidad total) estará entre el 12% y el 15% en caso de carga EL6.
- La altura mínima del techo central de las zonas de pasajeros será de 2,1 m.
- La apertura de la pasarela entre los módulos tendrá una anchura mínima de 1,3 m y una altura de 1,95 m.
- Los coches estarán dotados de pantallas que todos los pasajeros puedan ver.
- Tendrán sistema de aire acondicionado.
- Las condiciones de medición del ruido cumplirán los requisitos de las normas internacionales ISO 3381 para el interior del vehículo e ISO 3095 para el exterior. Los niveles de ruido provendrán de cargas ELE y EL4.
- El interior del vehículo evitará la resonancia de los paneles y otros componentes del vehículo. Los soportes de los equipos minimizarán la transmisión de vibraciones. Las vibraciones serán suficientemente alejadas de las frecuencias de excitación primarias para evitar cualquier tipo de

vibración resonante en las distintas condiciones de velocidad y de alimentación eléctrica de la línea. La calidad de la conducción se evaluará de acuerdo con la norma ISO 2631 o EN 12299.

- Se satisfarán los siguientes requisitos de confort acústico:

Tabla 80. Requisitos de confort acústico

Velocidad		Parada	40 km/h	60 km/h
Unidad (LpAeq)		TdBA	500ms dBA	500ms dBA
Ruido al interior del coche a 1,2 m sobre el piso	Zonas de pasajeros	62	67	70
	Pasillo	64	72	75
Ruido al exterior del coche a 7,5 m desde la línea central de la vía y a 1,20 m sobre el nivel de la vía		60	74	80

Fuente: UT MOVIUS 2022

- El rendimiento dinámico estará definido por la estabilidad, la velocidad máxima, las aceleraciones/desaceleraciones y el jerk.
- Los requisitos relativos a las aceleraciones se darán a nivel y en alineación recta, con una alimentación nominal de 1500 Vdc y una relación de adherencia máxima de las ruedas del carril del 25 %:
 - Velocidad máxima de funcionamiento: 80 km/h con EL6 y ruedas totalmente desgastadas;
 - Velocidad de diseño: 90 km/h
 - La aceleración media de 0 a 40 km/h (aceleración media de arranque) será de al menos 1,1 m/s²;
 - La aceleración media de 0 a 80 km/h será de al menos 0,8 m/s².
- Los requisitos relacionados con modos degradados como la carga de pasajeros, tipos de fallos y aspectos de rendimiento serán los siguientes:
 - En caso de fallo de un inversor de tracción, los sistemas de tracción y de freno serán capaces de continuar el servicio con pasajeros hasta el final del día incluso con una ligera degradación de la velocidad comercial.
 - En caso de que falle más de un inversor de tracción, el vehículo podrá continuar el servicio con pasajeros hasta el final del viaje o hasta la siguiente estación.
 - En caso de un fallo grave, después de descargar a los pasajeros en la estación más cercana, el vehículo en condición de carga vacía podrá realizar el arranque y el frenado en un pendiente de hasta 4%.
 - Un vehículo vacío podrá volver a arrancar en una pendiente del 4% al tirar o empujar a otro vehículo vacío, con una aceleración mínima de 0,1 m/s².

- El rendimiento de frenado satisfará los requisitos de la norma EN 13452-1 y cumplirá las siguientes funciones:
 - Frenado de servicio: frenado utilizado normalmente bajo el control del conductor o de la ATO para controlar la velocidad del vehículo. Será de tipo electrodinámico o mecánico.
 - Frenado de emergencia: freno mecánico basado en el objetivo principal de maximizar la seguridad de los pasajeros, el personal y de los no usuarios del sistema.
 - Freno de retención: freno que mantiene parado un vehículo con pasajeros durante un tiempo y una carga definidos.
 - Freno de estacionamiento: freno que puede mantener permanentemente un vehículo con una carga definida en una pendiente definida durante un periodo de tiempo indefinido.
- El vehículo podrá terminar su recorrido incluso aceptando una limitación del límite de velocidad máxima, a pesar de los fallos eventuales de algunos de sus equipos:
 - En caso de fallo de una unidad de frenado, las prestaciones del freno de servicio se mantendrán hasta el final del recorrido;
 - En caso de avería de los frenos, las unidades de frenado defectuosas deberán poder aislarse y desactivarse de manera remota desde el panel de gestión de emergencia;
 - En el caso de los vehículos de recuperación push-pull, será posible aislar la unidad dañada del sistema de frenado.
- El sistema de protección contra el deslizamiento de las ruedas mejorará las prestaciones de tracción y frenado al proporcionar un uso optimizado de la adherencia en todas las condiciones de las ruedas y los carriles.
- No habrá interoperabilidad de trenes entre la PLMB y la L2MB, puesto que la integración de requerimientos de interoperabilidad entre ambas líneas de Metro generaría más desventajas (limitación del mercado, complejidades contractuales) que ventajas (potenciales ahorros de costos OPEX). Sin embargo, una parte importante de los criterios de diseño y operación del material rodante retomó numerosos aspectos y especificaciones técnicas de la PLMB.

3.2.14. Proceso constructivo del proyecto

3.2.14.1. Túnel

La excavación la L2MB se realizará con un túnel de sección circular con un diámetro exterior de las dovelas de 10.45 m, por medio de un equipo de excavación para construcción de túneles denominado tuneladora. El tipo de máquina a utilizar en la excavación del túnel será EPB (Earth Pressure Balance) que cumple con las siguientes funciones: 1) Excavación de tierras; 2) Contención del frente de la excavación mediante de presiones de tierra en el frente; 3) Contención de la sección del túnel excavado mediante un revestimiento de anillos de dovelas prefabricadas con concreto reforzado; 4) Llenado con inyección de mortero o lechada del

espacio anular entre la sección del terreno excavado por la cabeza de corte y la cara exterior de las dovelas, denominado "gap". 5) Extracción del material de excavación hacia el exterior del túnel.

La máquina tuneladora EPB (Earth Pressure Balance) se divide en dos partes: el escudo y el Back Up. La primera parte tiene una longitud del orden de 10 a 12 m y la segunda tiene una longitud aproximada de 100 a 110 m. El escudo cumple con las funciones descritas en los anteriores numerales y el Back up cumple con la función de alojar y transportar todas las instalaciones necesarias para el funcionamiento de la tuneladora, así como transportar las dovelas prefabricadas y descargarlas en el escudo para su colocación en el frente. Las dovelas prefabricadas son transportadas desde el exterior del túnel hacia el interior del mismo por medio de trenes sobre rieles temporales o trenes sobre llantas. Véase Figura 253.

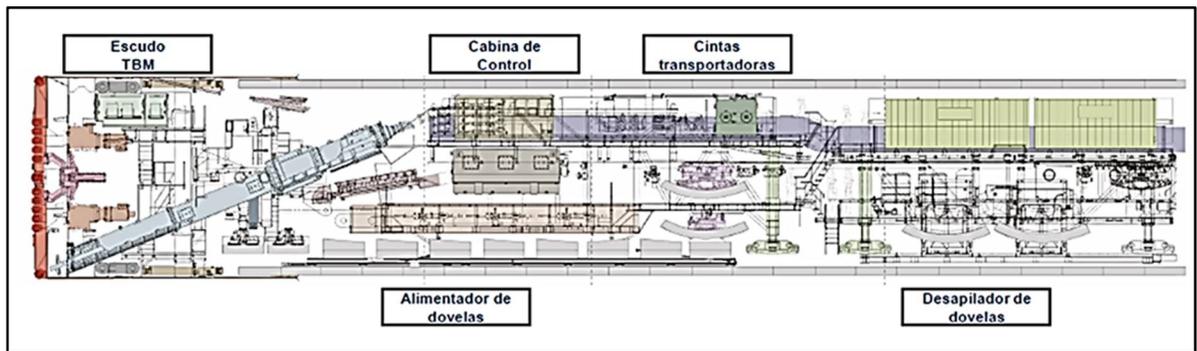


Figura 253. Perfil de la máquina en sección del escudo, cabina de control, sistema de dovelas

Fuente: Lavagno,A(2019)

La máquina tipo Earth Pressure Balance Shield (EPBS), o de (escudo de presión balanceada), se basa en el principio de utilizar los movimientos de empuje y avance de la tuneladora para mantener la presión en la cara. La presión de soporte frontal se aplica utilizando el suelo recién excavado, recolectado y presurizado en el plenum o recinto.

Las aberturas en el cabezal de corte de la tuneladora, que está equipado con herramientas de corte como discos o picos, permiten la recolección y acumulación del suelo excavado en el recinto (que es muy similar a la cámara de protección de lechada: es decir, un espacio entre el cabezal de corte y el mamparo). La extracción de lodo del recinto se realiza a través de un transportador de tornillo giratorio o un tornillo sin fin de Arquímedes. La cantidad extraída de material es proporcional a la velocidad de rotación del tornillo, mientras que la cantidad excavada es proporcional a la tasa de penetración de la tuneladora. En el proceso se crea un equilibrio dinámico basado en el equilibrio de volumen excavado y extraído (equilibrio de volumen) dentro del recinto. El ajuste de este equilibrio, mediante la variación de la velocidad de rotación del tornillo, permite crear una acumulación y la consiguiente presurización de material en el recinto.

La presión del soporte del frente se controla variando la velocidad de rotación del tornillo, así como la función de la tasa de penetración de la tuneladora.

Además, de las funciones básicas de extracción de lodo y control de la presión del soporte facial del frente, el transportador de tornillo (Figura 254), permite la disipación de la presión en el recinto, desde el valor máximo (en el nivel inferior de la cámara) hasta el nivel atmosférico (en la compuerta de descarga), a través de la formación del llamado "tapón" de material a lo largo del propio tornillo sin fin.

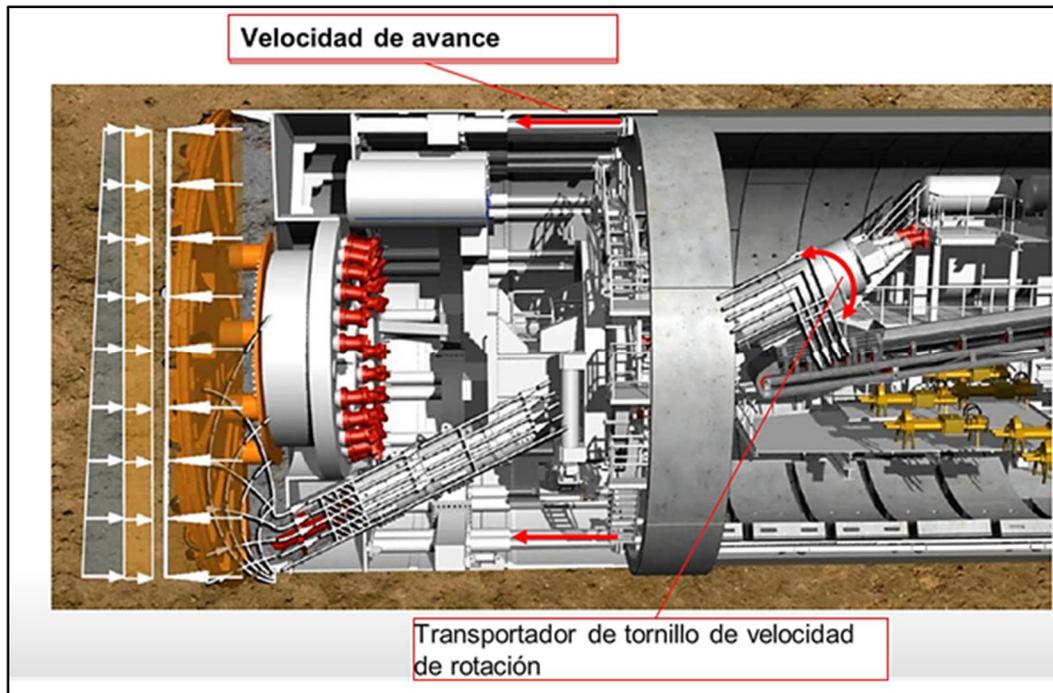


Figura 254. Esquema de equilibrio de presión de tierras y sistema de extracción.
Fuente: Herrenknecht

El funcionamiento de la máquina EPB o de equilibrio de la presión de tierras, tiene por objetivo excavar una sección circular a cierta profundidad, contrarrestando la presión del terreno en el frente, evitando así deformaciones que se traducirían en asientos significativos en la superficie.

Para lograr lo anterior, el escudo excava por rotación de la cabeza de corte y avanza por el accionar de los gatos de empuje, los cuales reaccionan con el último anillo de revestimiento (dovelas) colocado e impulsan el escudo contra el terreno. La velocidad de avance puede ser regulada con el flujo hidráulico que controla la presión de los gatos de empuje del escudo.

Al excavar el terreno, éste se introduce en la cámara frontal del escudo EPB y una inyección de espuma - mezcla de agua, producto tensoactivo, polímeros estabilizadores y aire - a una determinada presión según la granulometría del material a excavar (Figura 255), y la agitación producida por la cabeza de corte, convierten el terreno excavado en un lodo que se presuriza debido a la presión ejercida por los cilindros hidráulicos de empuje.

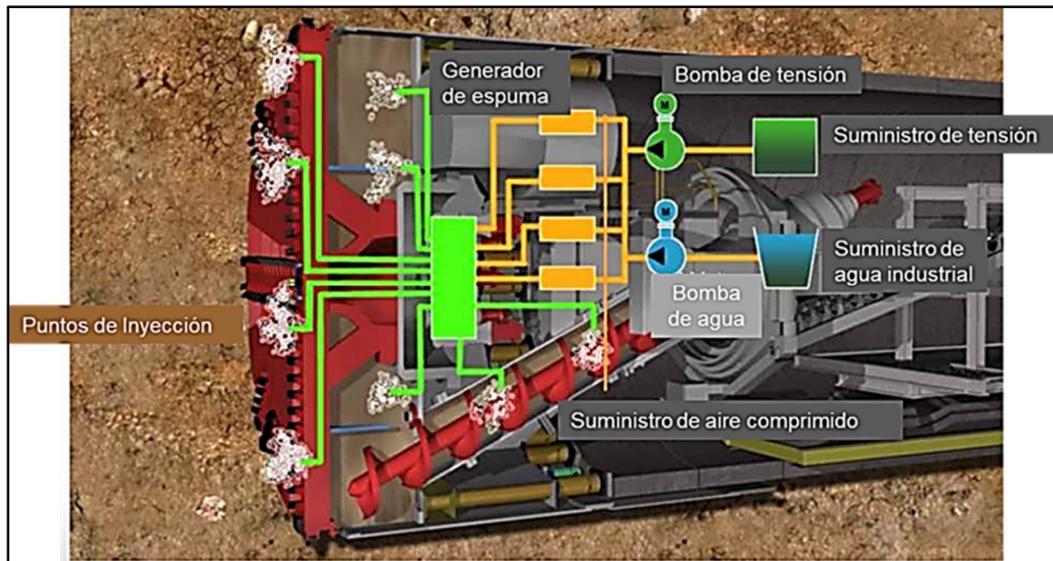


Figura 255. Sistema de inyección en el frente.
Fuente: Herrenknecht

La presión dentro de la cámara se controla por medio de la velocidad de rotación del tornillo sinfín y de la apertura de la compuerta situada en la descarga del tornillo. El volumen de terreno excavado que ingresa en la cámara, sustituye al equivalente que ha de extraerse de la misma sin pérdida de presión. La retirada del material excavado se hace mediante una cinta transportadora o por bombeo, el cual continúa hasta el sitio de embarque de vagones o del equipo que evacua el material hasta el exterior.

Una vez alcanzado el recorrido total de los gatos o un desplazamiento mínimo para la colocación de un nuevo anillo de dovelas, se procede a su detención, lo cual significa que la excavación ha concluido, procediendo a la colocación del revestimiento en el interior y la final de la cola del escudo.

Al término de cada empuje se verifica en el sistema de guiado automático la posición real del escudo y se compara con la del proyecto, lo cual da la pauta a seguir para la programación de la colocación del anillo de dovelas antes del siguiente empuje y corregir así la posición del escudo.

Para la colocación de los anillos subsecuentes se realizan las siguientes actividades:

- a) Se retraen los gatos del escudo ubicados en la posición donde se coloca la primera dovela.
- b) La dovela es tomada por el brazo erector, donde previamente se verifica que cuente con los tornillos necesarios para la colocación de la misma, procediendo con la colocación de la dovela en su sitio correspondiente y fijando la tornillería a los insertos "tuercas".
- c) Se apoyan los gatos a la dovela dependiendo de la posición de la misma para poder retirar el brazo erector, trasladándose para posicionarse en la siguiente dovela por colocar.
- d) Se retiran los gatos necesarios para alojar la segunda dovela.
- e) Se hacen coincidir el orificio del tornillo con el del inserto "tuerca", colocando los tornillos correspondientes.
- f) Nuevamente se apoyan los gatos de acuerdo con la posición de la dovela, se retira el brazo erector para desplazarse a la siguiente dovela situada sobre la mesa de traslación.
- g) Se repetirá la misma secuencia descrita hasta colocar todas las dovelas y la cuña dentro de la cola del escudo.

- h) Estas actividades serán repetidas para la colocación de los anillos durante todo el proceso de excavación del túnel, procurando que las dovelas no se traslapen en las juntas para que no se formen líneas de fallas longitudinales por la posición repetitiva de los anillos. Se aclara que todas las posiciones de los anillos que se utilizan son para formar las curvas existentes y/o para corregir la línea o nivel en caso de existir desviaciones del trazado teórico.

Los anillos de dovelas pueden ser del tipo universal, izquierdos o derechos, de manera que por medio de las múltiples posiciones posibles se pueden seguir las curvas o tangentes del trazado y perfil del proyecto. El anillo universal, aunque de diseño más complejo, se utiliza cada vez más por razones económicas, ya que permiten emplear un solo tipo de anillo, sea cual sea la curvatura que se haya de realizar en el túnel.

Una vez colocado el anillo, se está en condición de realizar otro empuje o avance, el cual comienza con el giro de la cabeza de corte y el empuje de los cilindros.

Simultáneo al empuje, se realiza la inyección de una mezcla o mortero en el espacio anular comprendido entre el terreno y los anillos de dovelas, con el fin de evitar deformaciones superficiales del terreno (Figura 256 y Figura 257).

Este proceso se ejecuta de manera simultánea a la excavación a lo largo de todo el túnel, en los anillos que vayan saliendo de la cola del escudo. Para tal fin se emplea un sistema de inyección basado en el concepto Bi-componente, con una mezcla donde el componente A es una suspensión coloidal de una mezcla de conglomerantes hidráulicos y el B es un acelerante, generalmente silicato sódico, ambos reaccionan y endurecen en un tiempo que permite llenar todo el gap entre el anillo y el terreno excavado.

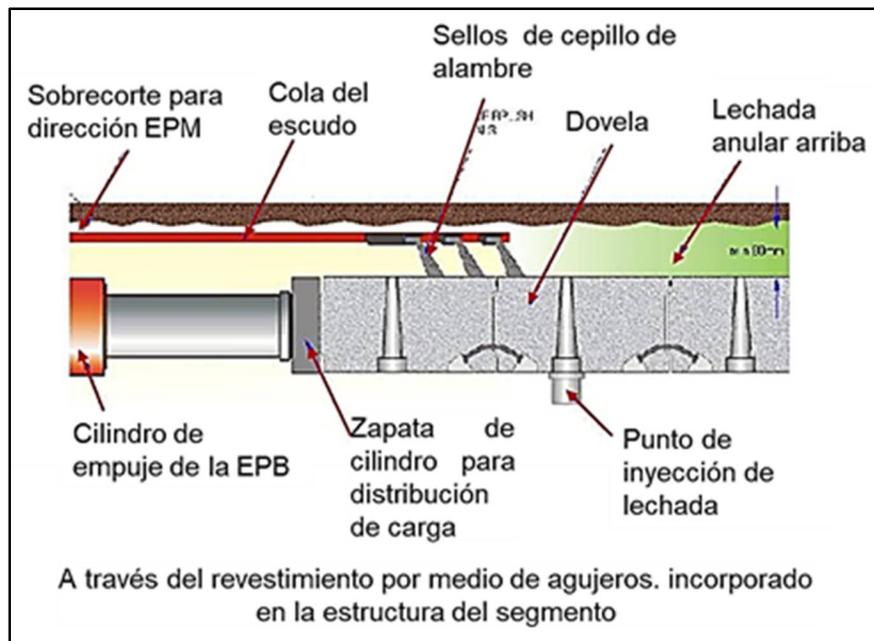


Figura 256. Sistema de inyección de lechada detrás de la cola del escudo en la zona de gap o espacio anular.

Fuente: Herrenknecht

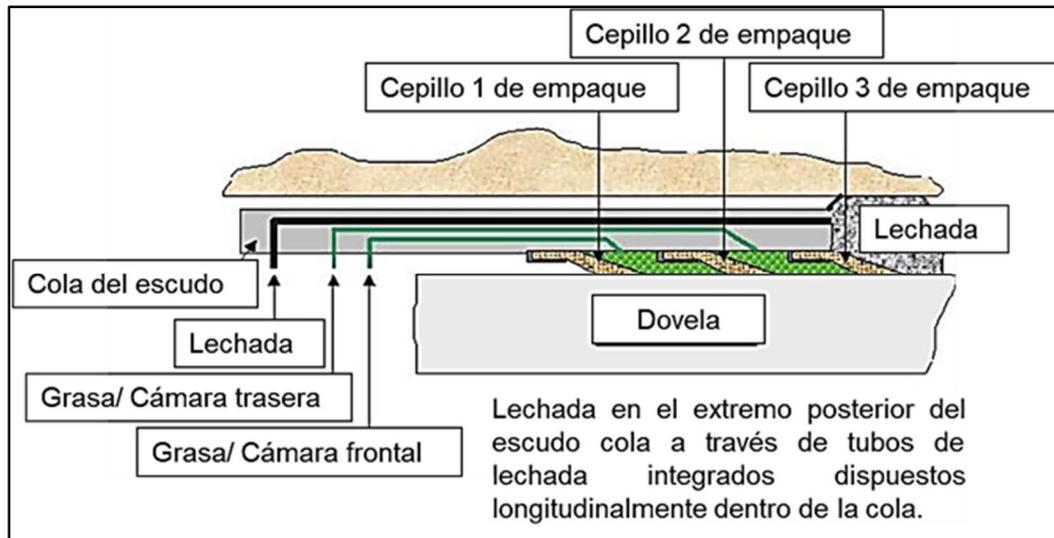


Figura 257. Sistema de sello e inyección del gap anular.
Fuente: Herrenknecht

La secuencia de excavación y colocación de un anillo de dovelas prefabricadas inicia con la excavación del terreno en el escudo y el empuje de los gatos sobre el anterior anillo de dovelas colocado previamente, hasta alcanzar un espacio dentro del escudo para la colocación de un nuevo anillo de dovelas. Luego de esto se retraen los gatos por sectores para la instalación de las dovelas hasta completar el nuevo anillo, estas dovelas son atornilladas al anillo previo y la dovola adyacente mientras es sujetado por la presión de los gatos que se acortaron para permitir la colocación del nuevo anillo. Un avance estimado de construcción con máquina tuneladora en materiales de depósitos lacustres como los de la ciudad de Bogotá están del orden de 15.0 m por día, siempre y cuando se cumplan con avance adecuado durante la excavación, tiempos acordes de colocación de los anillos de dovelas prefabricadas y control de la inyección con mortero o lechada del "gap".

Por otra parte, el sistema de revestimiento del túnel es diseñado con dovelas prefabricadas de concreto reforzado de alta resistencia para poder tomar las cargas tanto del terreno como del agua externamente, las cargas que se originan durante el proceso de construcción, así como las cargas axiales de empuje de los gatos de apoyo de la máquina EPB.

Este anillo de revestimiento compuesto de dovelas es acondicionado en sus juntas por sellos herméticos, de tal forma que hace que el sistema de construcción sea completamente estanco. En la Figura 258, se observa un ejemplo típico de una dovola y de los tipos de sellos que se acostumbran a colocar en ellas, para lograr la hermeticidad o estanqueidad del sistema. ITA-AITES(2019).

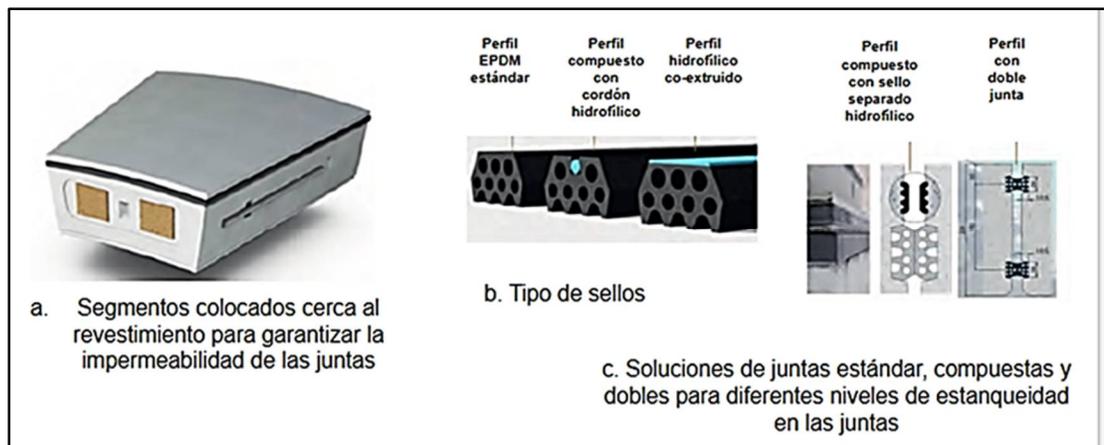


Figura 258. Sistemas de sello de las dovelas.

Fuente: ITA-AITES (2019)

En la Figura 259 y la Figura 260, se presentan esquemas típicos con la disposición del anillo de dovelas, p.e, con sistema de dovelas de geometría trapezoidales para lograr trabarlas y de esa forma garantizar un anillo completo de soporte y revestimiento. También en esas figuras se observan las juntas longitudinales y transversales. En las transversales se acostumbra a colocar pernos diagonales de acero para amarrar o sujetar las dovelas (véase Figura 261). En las longitudinales y aún en las transversales existen también llaves de concreto para trabarlas entre sí y garantizar la continuidad estructural de anillo de revestimiento.

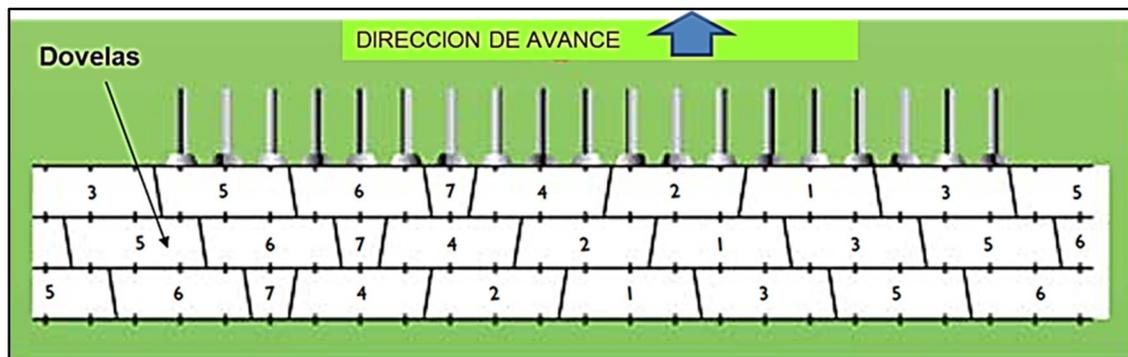


Figura 259. Configuración del anillo con segmentos trapezoidales.

Fuente: Guglielmetti et al (2007)

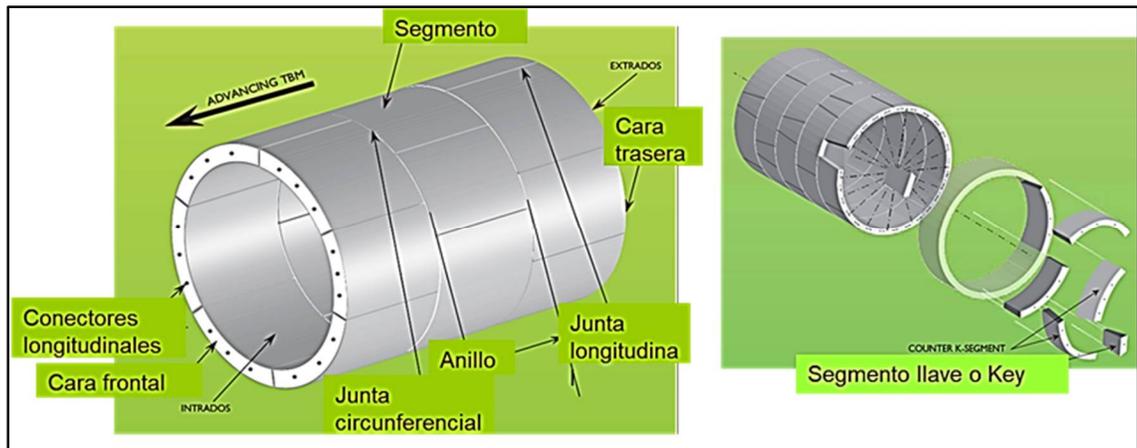


Figura 260. Revestimiento del túnel con anillo de dovelas de concreto reforzado.
Fuente: Guglielmetti et al (2007)

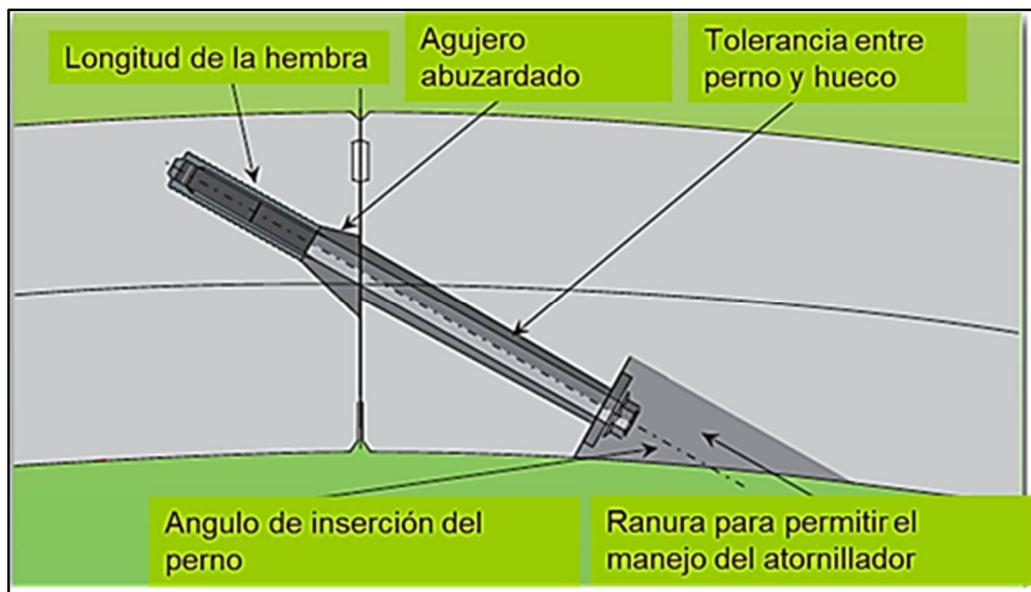
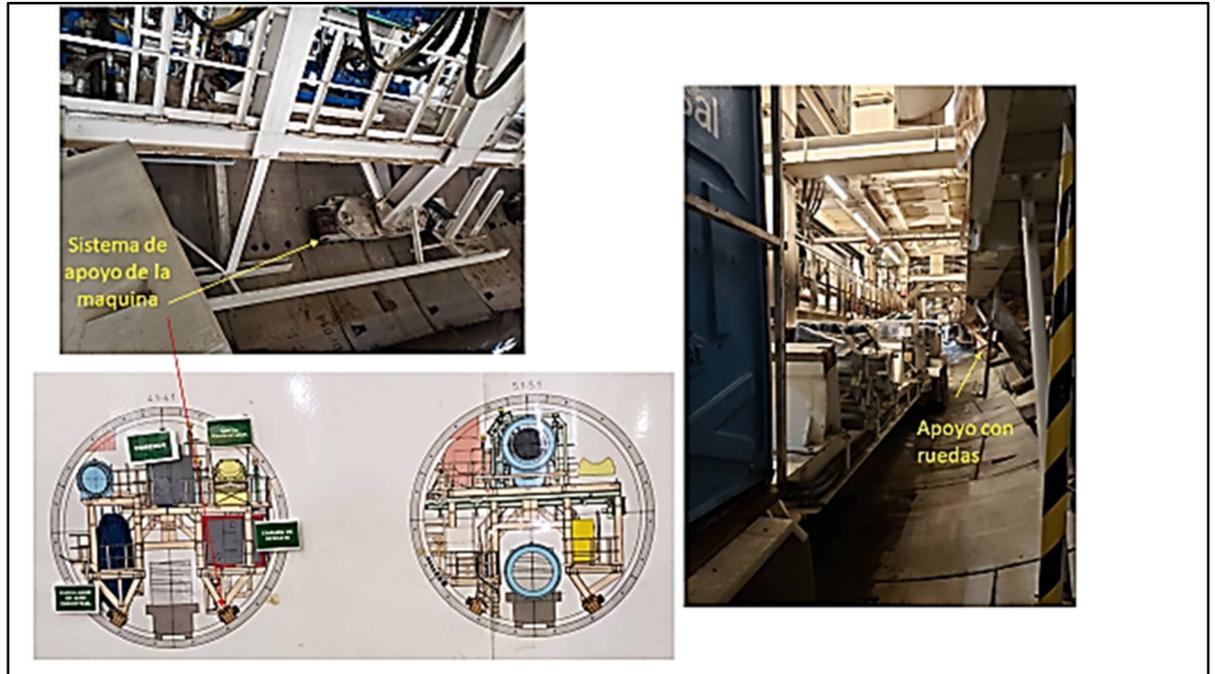


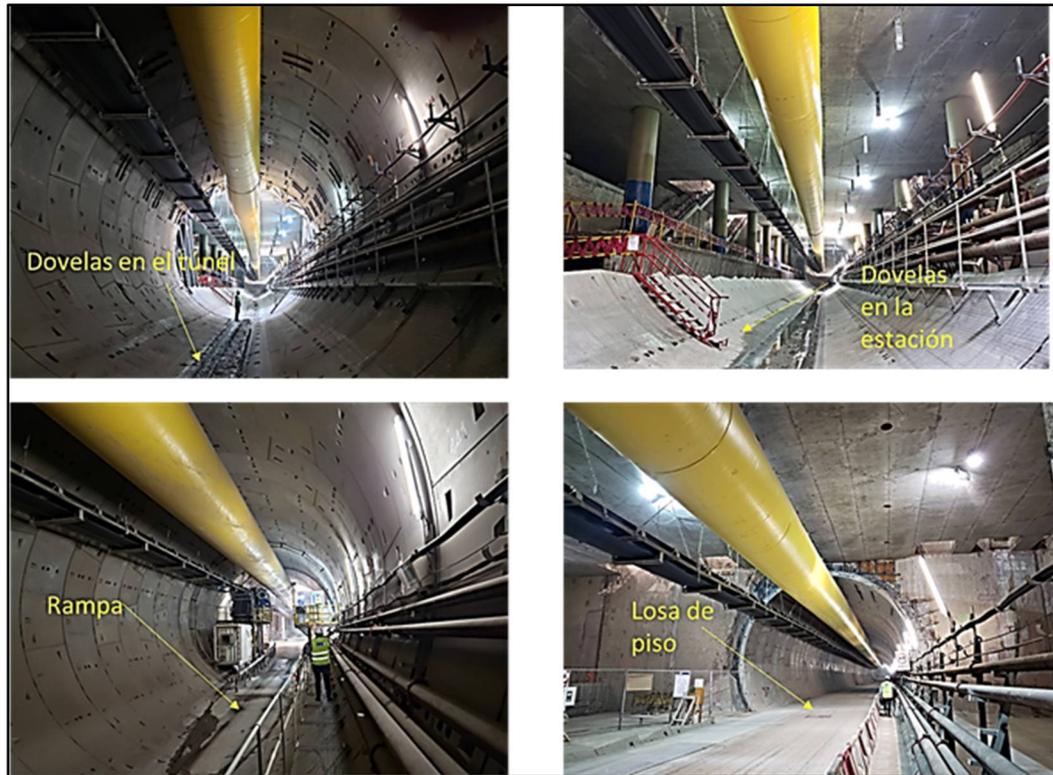
Figura 261. Sistema de sujeción de las dovelas mediante pernos de acero.
Fuente: Guglielmetti et al (2007)

También, en forma paralela a la excavación y colocación de anillos, se coloca una solera en concreto para el avance del back up y el sistema de vagones que alimentan las dovelas, equipo y demás materiales al escudo, durante la excavación, lo cual además ayuda para efectos de flotación. Este sistema de excavación con máquina EPB puede moverse sobre rieles o sobre ruedas neumáticas. Hoy en día la tecnología de máquinas EPB indica que es más conveniente sobre ruedas por agilidad y costos de construcción, como se muestra en la Fotografía 20

Con respecto a relleno y/o solera para el material rodante, éste se coloca generalmente varios metros atrás de toda la máquina, conformando unas rampas temporales para facilitar el acceso de los carros de ingreso de personal y materiales al frente de la máquina. Véase Fotografía 21



Fotografía 20. Sistema de apoyo de la máquina EPB sobre las dovelas con ruedas
Fuente: UT MOVIUS 2022



Fotografía 21. Rampa o conformación de relleno en concreto o solera para el material rodante
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.14.2. Pozos de entrada y salida de la tuneladora

3.2.14.2.1. Pozo de entrada

El pozo de entrada se construirá en el occidente de la ciudad. Este pozo tendrá 220 m de longitud y 14,80 m de ancho útil y una profundidad variable de 2 a 15 m para poder montar la máquina tuneladora.

Debido a la forma circular del escudo de la tuneladora, en el fondo del pozo de entrada se requiere construir una estructura que se adapte a la geometría circular antes mencionada y que permita el deslizamiento del escudo hacia el terreno. Ésta puede ser una estructura con perfiles metálicos engrasados o con ruedas o rieles que soporten el peso del escudo y permitan su desplazamiento hacia el terreno.

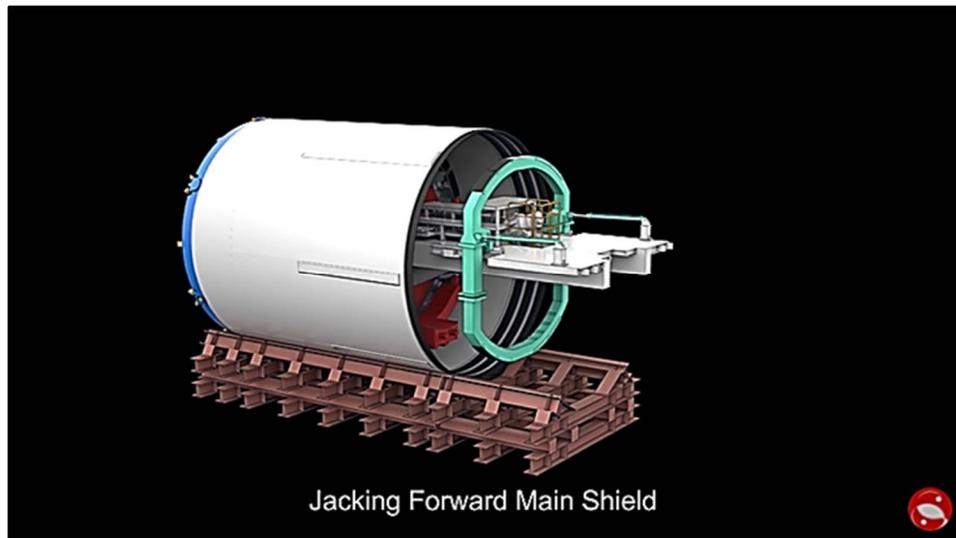


Figura 262. Estructura para el soporte del escudo durante su ensamble en el pozo de entrada
Fuente: HCMC METRO - TBM HANÓI - VIETNAM

Para que la máquina tuneladora pueda movilizarse hacia el terreno y se inicie la construcción del túnel, se utiliza el empuje de los gatos hidráulicos del escudo. Por lo anterior, debe disponerse de una estructura de reacción capaz de resistir el empuje horizontal de la máquina, como se muestra en la Figura 263.

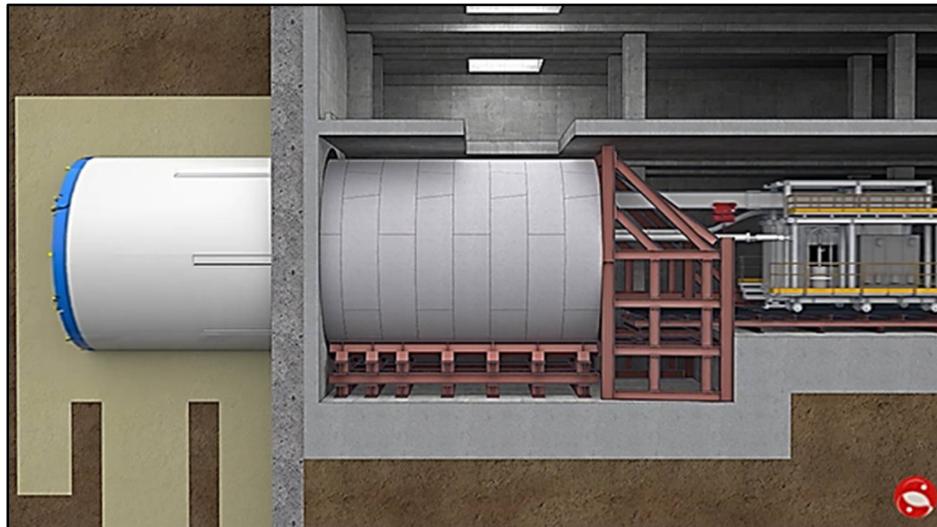


Figura 263. Estructura de reacción para el lanzamiento de la máquina tuneladora hacia el terreno
Fuente: HCMC METRO - TBM HANÓI - VIETNAM

En el pozo de entrada se ubican los equipos de ventilación adecuados para la inyección constante de aire fresco hacia el frente de excavación. Dicho aire se transporta desde el pozo de entrada a la tuneladora, por medio de un conducto ubicado en la clave del túnel.

Así mismo, en el pozo de entrada se ubican los equipos necesarios para el sistema de refrigeración de la tuneladora y la conexión a la red eléctrica de la ciudad de Bogotá para el suministro de la energía necesaria para el funcionamiento de la tuneladora y de las instalaciones exteriores en el pozo.

Una vez completado el primer tramo de excavación del túnel, del orden de 20 anillos (aproximadamente 30 a 40 m), se inicia la excavación con la máquina tuneladora EPB (Earth Pressure Balance) y la colocación de los anillos de dovelas prefabricadas (Figura 264).

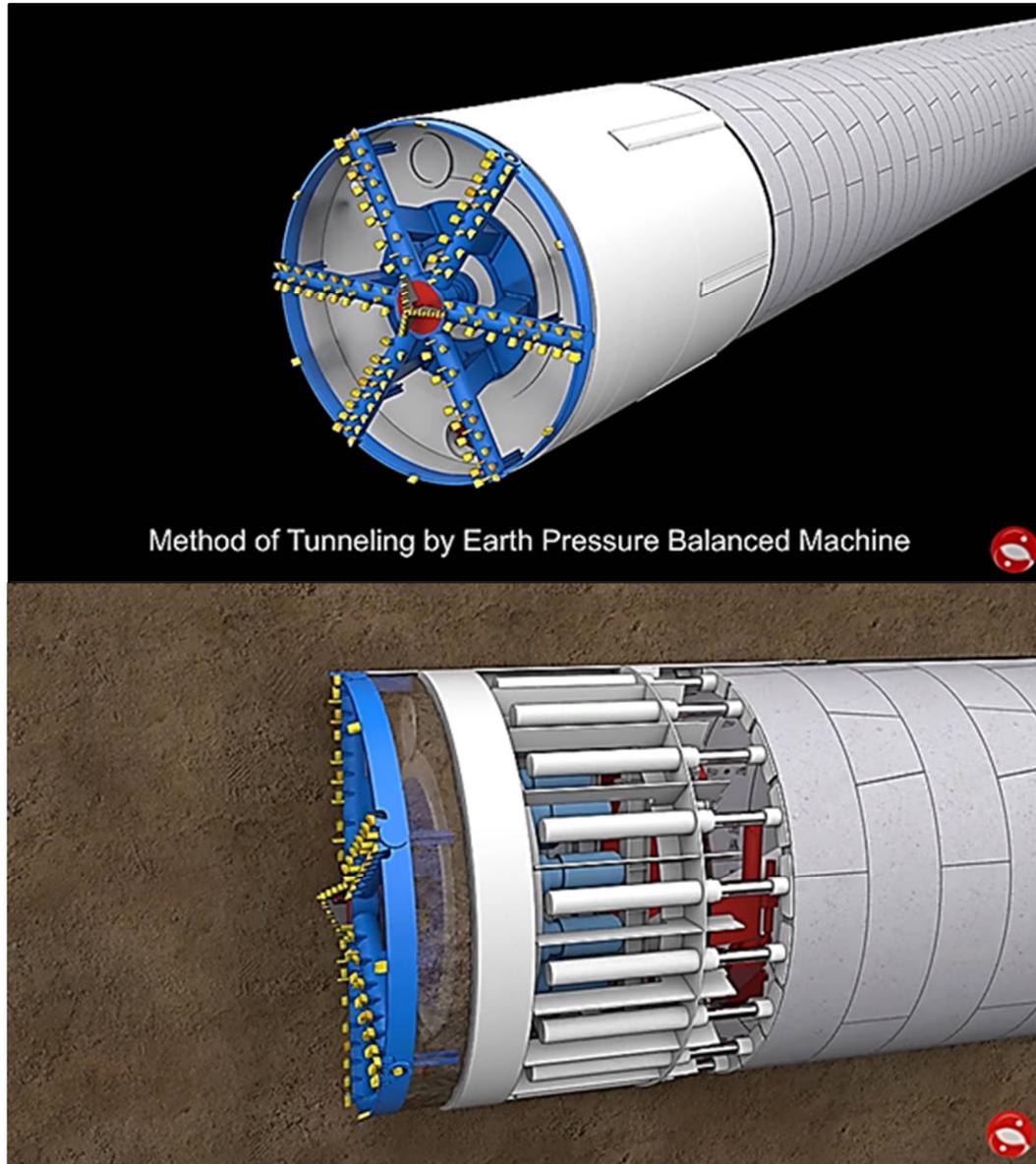


Figura 264. Inicio de excavación de la tuneladora y colocación de anillos de dovelas prefabricadas.

Fuente: HCMC METRO - TBM HANOI - VIETNAM

Para garantizar un suministro suficiente de dovelas prefabricadas, se requiere disponer de un sitio de acopio de las mismas cerca al pozo de entrada, con el fin de reducir los tiempos de construcción por efectos del transporte de dovelas desde su sitio de fabricación hasta el pozo de entrada. Las dovelas son transportadas hasta el *back up* de la tuneladora mediante trenes de transporte o vehículos con llantas, y luego son cargadas en el *back up* y colocadas en el escudo. En la Fotografía 22 se aprecia un patio típico de acopio de dovelas y en la Fotografía 23 un vehículo típico de transporte de las mismas.



Fotografía 22. Sitio típico de acopio de dovelas prefabricadas
Fuente: UT MOVIOUS 2022



Fotografía 23. Vehículo típico para transporte de dovelas
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Para el relleno del “*gap*” con inyección de mortero o lechada, éste se fabrica cerca al pozo de entrada y luego se transporta hacia el *back* por medio de contenedores especiales, para el constante suministro durante la construcción del túnel.

Para la extracción del material excavado por la cabeza cortante en el escudo, se provee una faja o cinta transportadora en toda la longitud del túnel excavado, que transporta el material excavado del frente de excavación hacia el pozo de entrada y descarga el material de excavación en un acopio de material temporal. Este material se carga en camiones de transporte y se lleva al depósito definitivo de escombros aprobado por la autoridad competente.

3.2.14.2.2. Pozo de salida

En el oriente de la ciudad y al final del tramo subterráneo de la L2MB en la cola de maniobras, se ubica el pozo de salida de la tuneladora, el cual requiere estar construido antes de la llegada de la máquina para su desmontaje y extracción a superficie. Para el retiro de la tuneladora es necesario disponer de equipos que permitan la extracción de la máquina por partes antes de ser izadas hacia la superficie.

3.2.14.2.3. Proceso constructivo

El riesgo por la construcción de los pozos de entrada y salida es bajo en la medida en que el proceso constructivo sea adecuado y permita controlar las deformaciones a valores admisibles. Para ese fin, se ha previsto la construcción de los pozos mediante el sistema *Cut & Cover* método invertido, usual para trincheras y pozos en líneas de metro, resumido en la secuencia indicada a continuación:

- 1) Excavación del terreno a nivel de la losa de techo.
- 2) Construcción de las pantallas preexcavadas:
 - 2.1) La pantalla se construye en módulos de 5,0 m de longitud alternados. Posteriormente, los espacios entre pantallas se llenan con los módulos siguientes, en una secuencia similar a la indicada en la Figura 265.

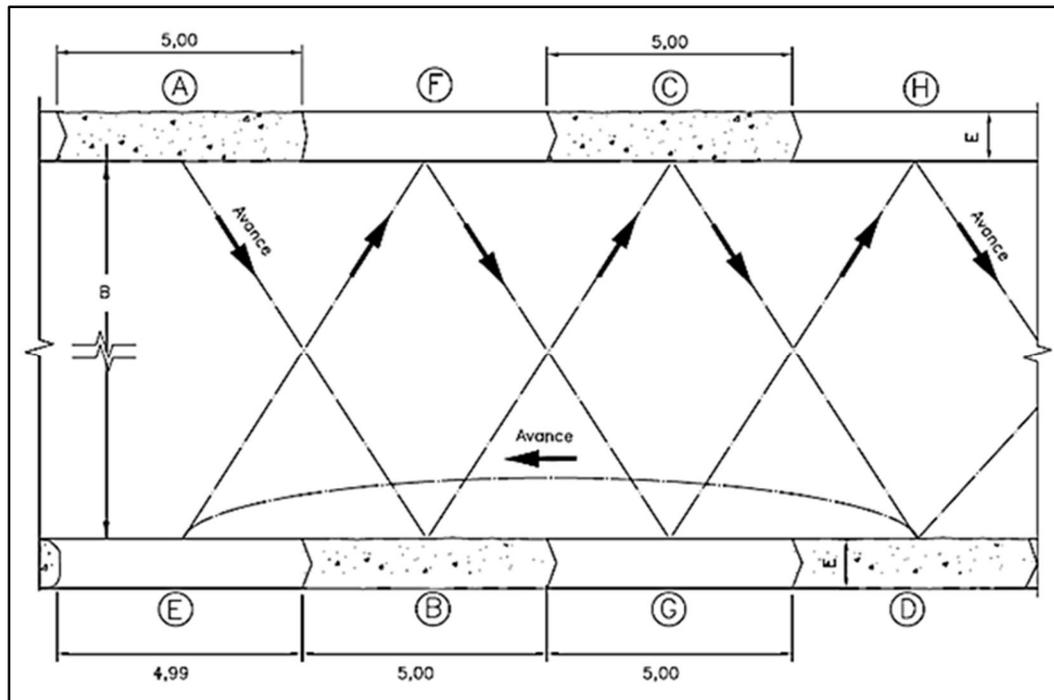


Figura 265. Planta. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas
Fuente: UT MOVIUS 2022

2.2) Cada módulo de pantalla se excava con equipos de excavación vertical tipo almeja en tres franjas verticales, primero las extremas y finalmente la del medio, llenando el hueco de la excavación con lodo bentonítico para mantener la estabilidad del hueco. En los extremos del muro se debe dejar formaletas para juntas temporales machihembradas. (Figura 266)

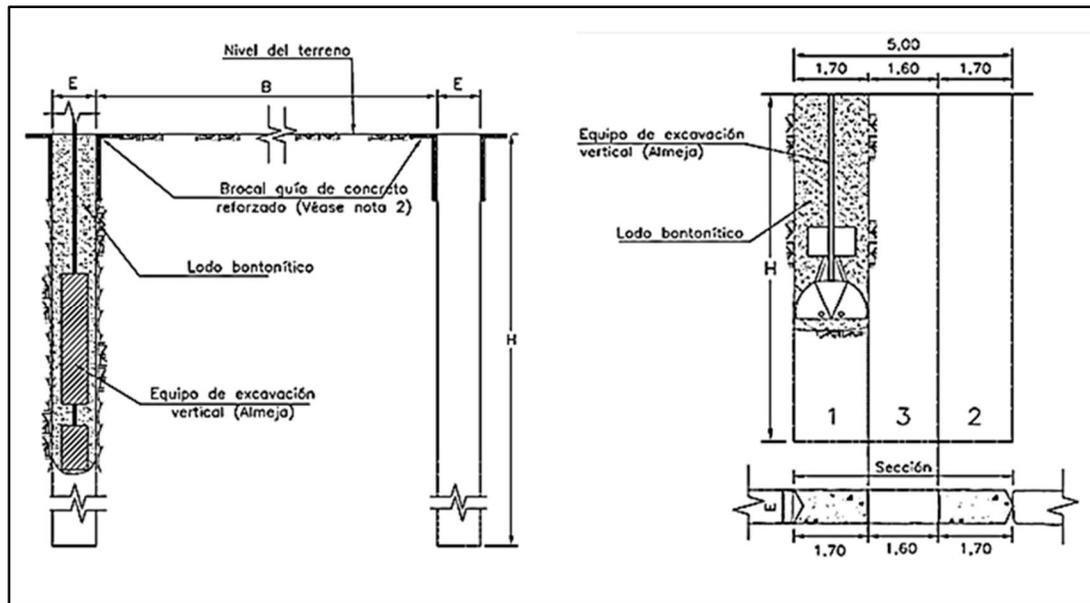
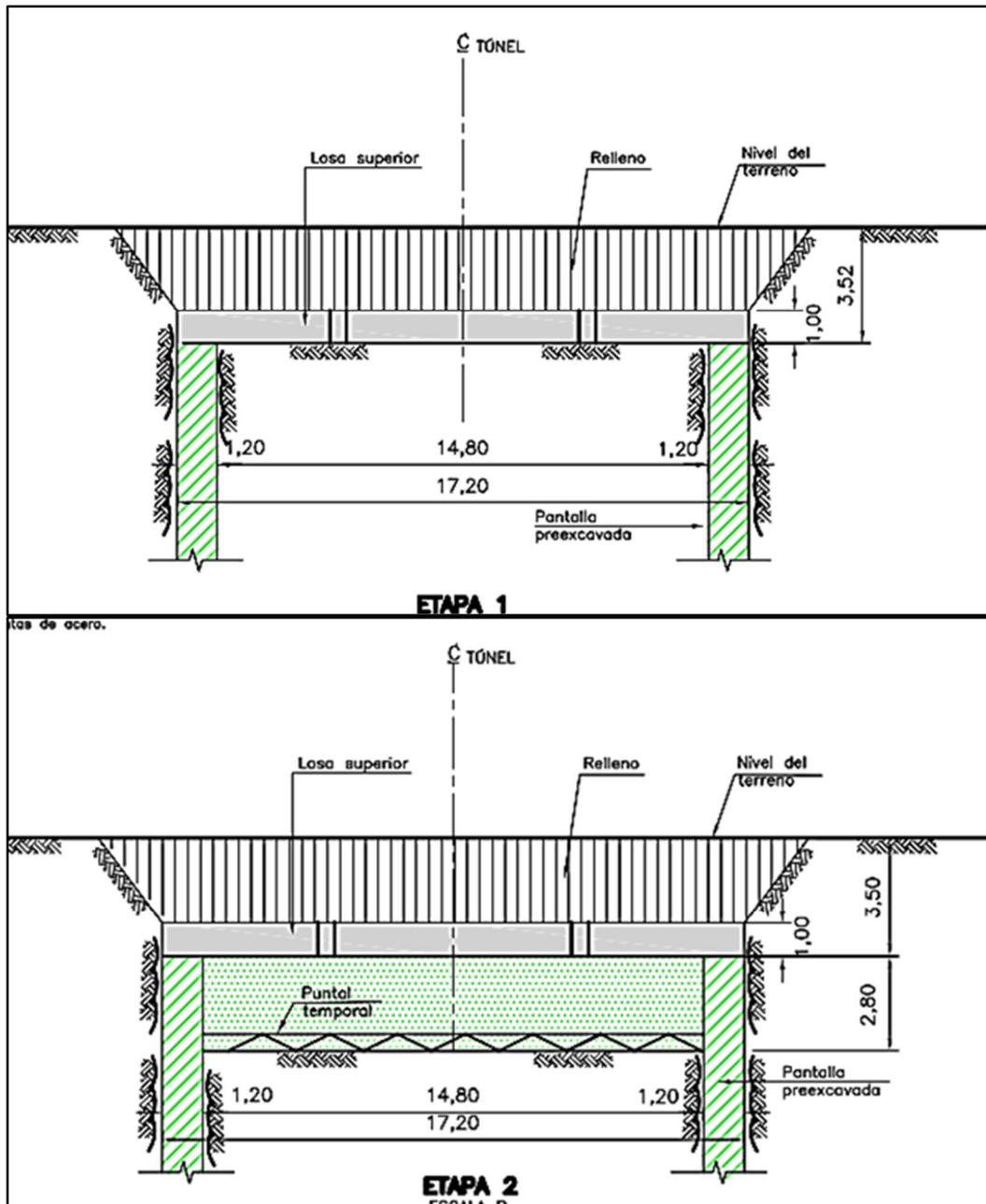


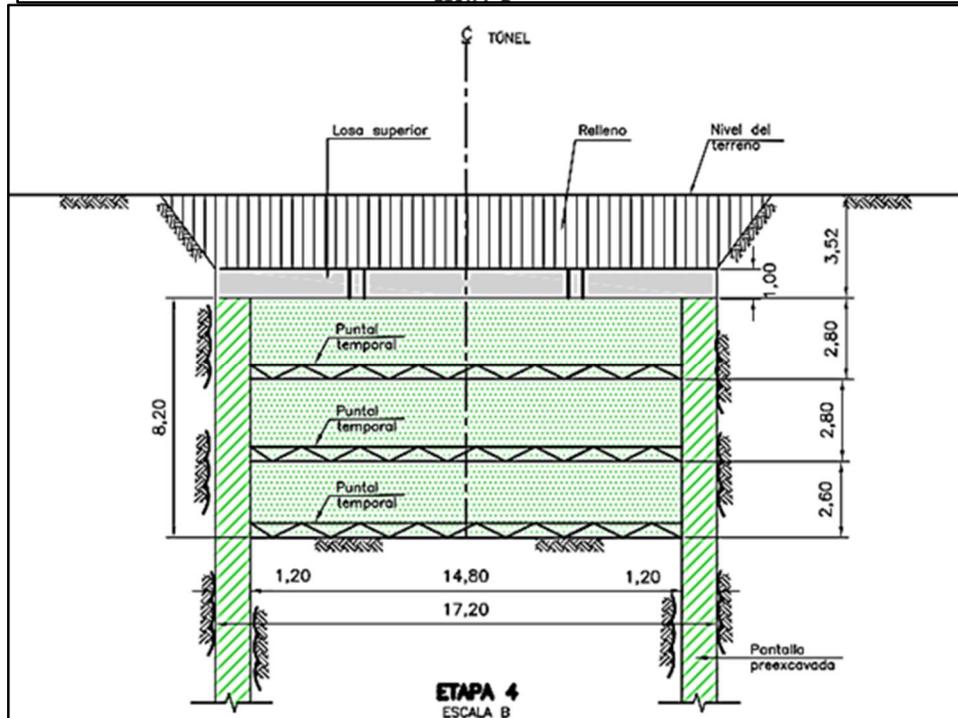
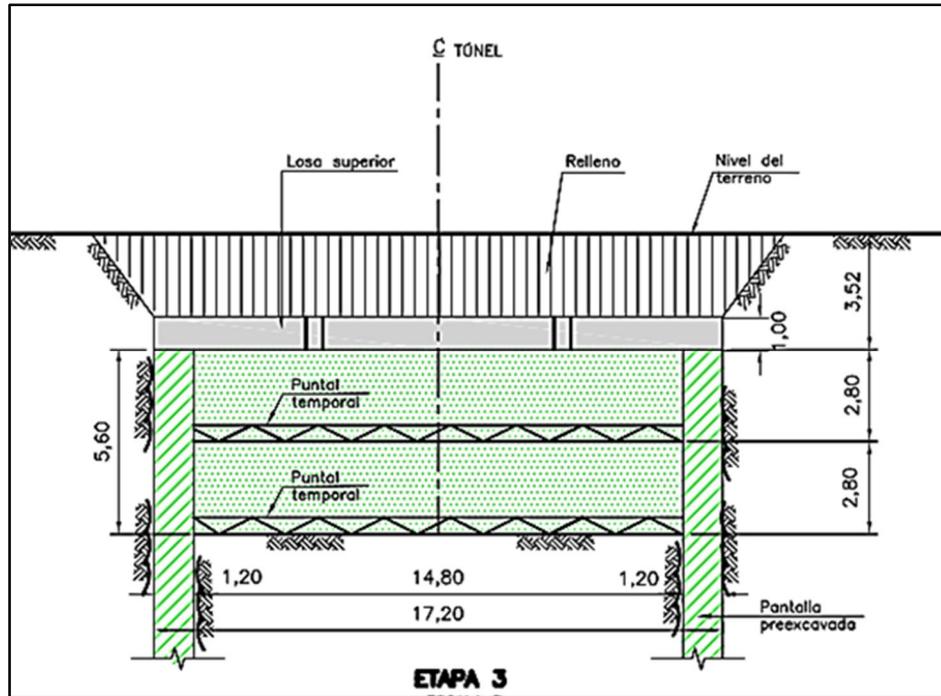
Figura 266. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas

Fuente: UT MOVIUS 2022

- 3) Colocación de la jaula de acero de refuerzo.
- 4) Vaciado de concreto tremie, que por diferencia de densidades desaloja el lodo de bentonita del hueco.
- 5) Con la misma metodología, construcción de las pantallas interiores desde la superficie, tanto longitudinales como transversales.
- 6) Una vez construidas las pantallas, conformación del tapón de *jet grouting* desde la superficie. Para ejecutar la columna de suelo cemento se realiza una perforación, usualmente de 10 cm de diámetro hasta el fondo de la columna por construir. En este punto se inicia el proceso de inyección de lechada de cemento y agua, que sale a alta velocidad por las toberas laterales, las cuales giran mientras se extrae lentamente el tubo de perforación.
- 7) Una vez construidas las pantallas y el tapón de *jet grouting*, construcción de la tapa superior en concreto reforzado. Cuando la losa está terminada y ésta adquiere la resistencia suficiente, habilitación de la superficie mientras continúan los trabajos en el interior.
- 8) Excavación de material de suelo hasta el primer nivel de apuntalamiento, localizado en la parte media entre la losa de techo y el primer nivel de losa y/o puntales permanentes intermedios. Instalación de puntales.
- 9) Excavación de material de suelo hasta el nivel de la primera losa y/o puntales permanentes. Construcción de la losa y/o puntales permanentes. Cuando la losa y/o puntales adquieren la resistencia suficiente, continuación de la excavación hasta el siguiente nivel de apuntalamiento.
- 10) Continuación de la secuencia de construcción de igual forma hasta alcanzar el nivel del fondo para construir la losa en ese sitio.

En la Figura 267, se muestra la secuencia de excavación del sistema constructivo Cut & Cover, método invertido (*top down*).





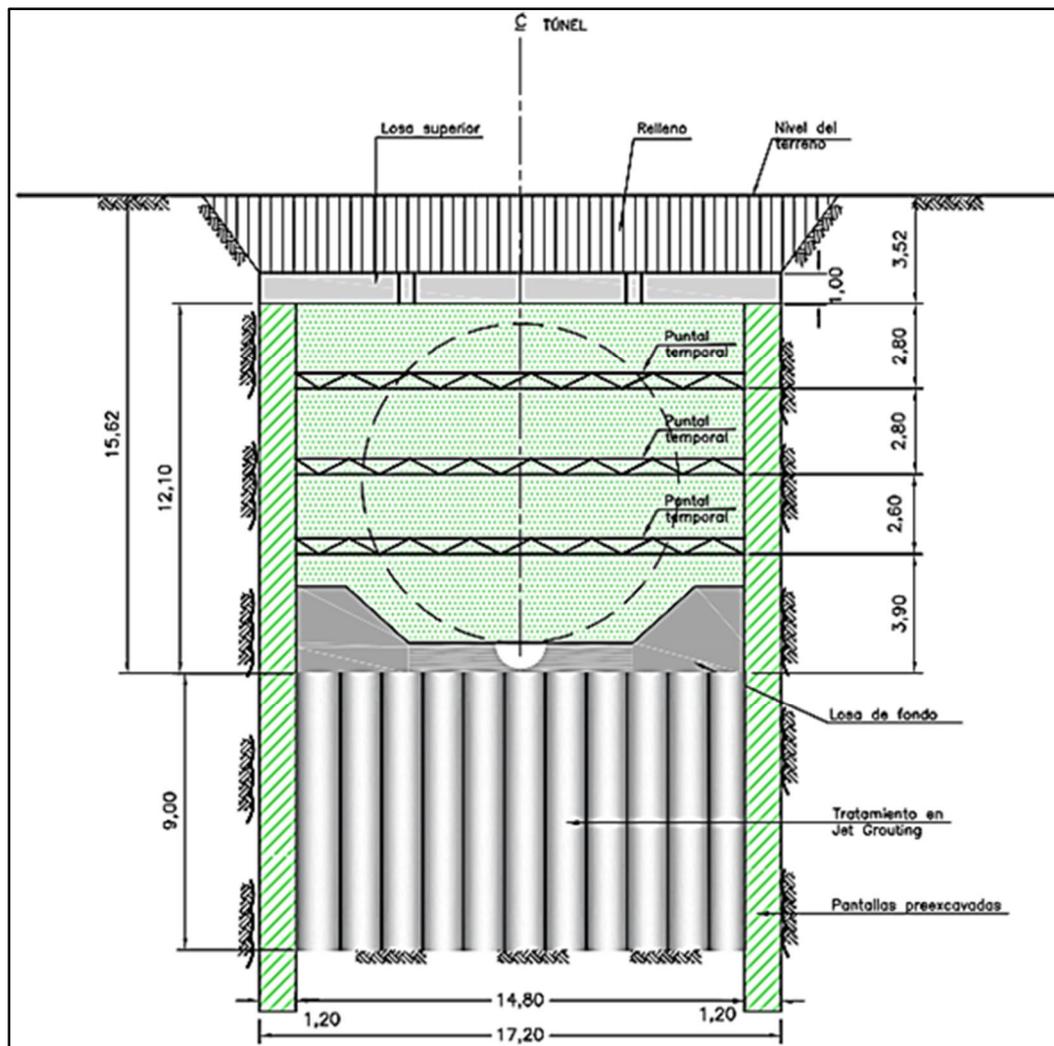


Figura 267. Secuencia de excavación en procedimiento constructivo de pozos
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.14.3. Estaciones subterráneas

Para la construcción de las estaciones subterráneas se ha previsto el uso del sistema *Cut & Cover* método invertido, usual en este tipo de edificación, el cual se resume a continuación:

- Excavación del terreno a nivel de la losa de techo.
- Construcción de la pantalla preexcavadas:
 - La pantalla se construye en módulos de 5,0 m de longitud alternados. Posteriormente, los espacios entre pantallas se llenan con los módulos siguientes, en una secuencia similar a la indicada en la Figura 268.

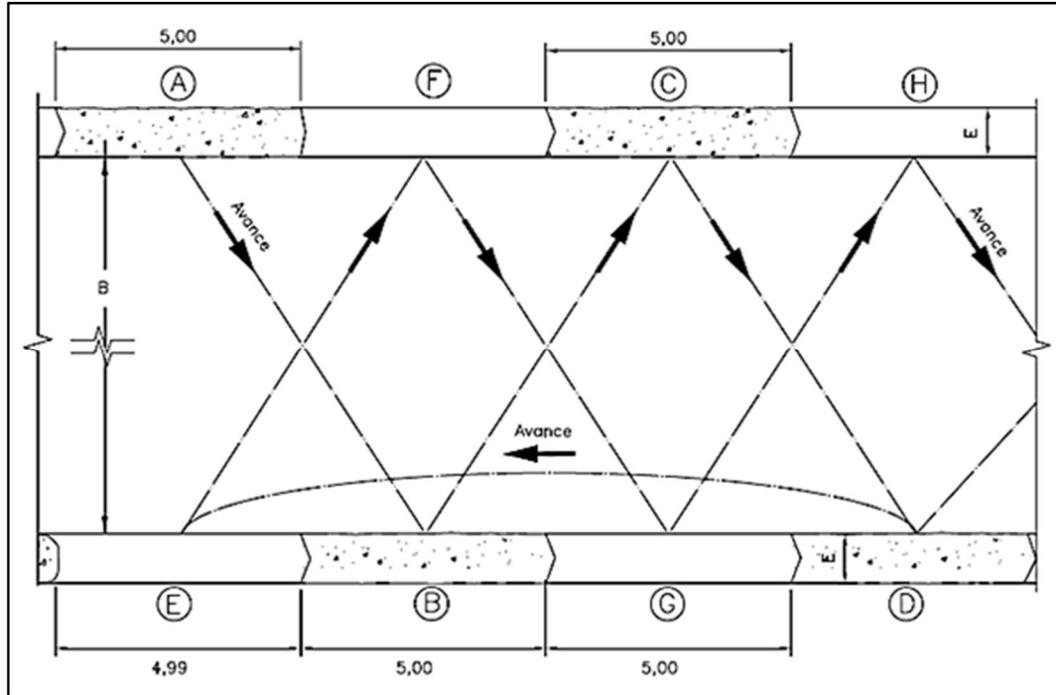


Figura 268. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (planta)
Fuente:UT MOVIUS 2022

- Cada módulo de pantalla se excava con equipos de excavación vertical tipo almeja en tres franjas verticales, primero las extremas y finalmente la del medio, llenando el hueco de la excavación con lodo bentonítico para mantener la estabilidad del hueco. En los extremos del muro se debe dejar formaletas para juntas temporales machihembradas (Figura 269).

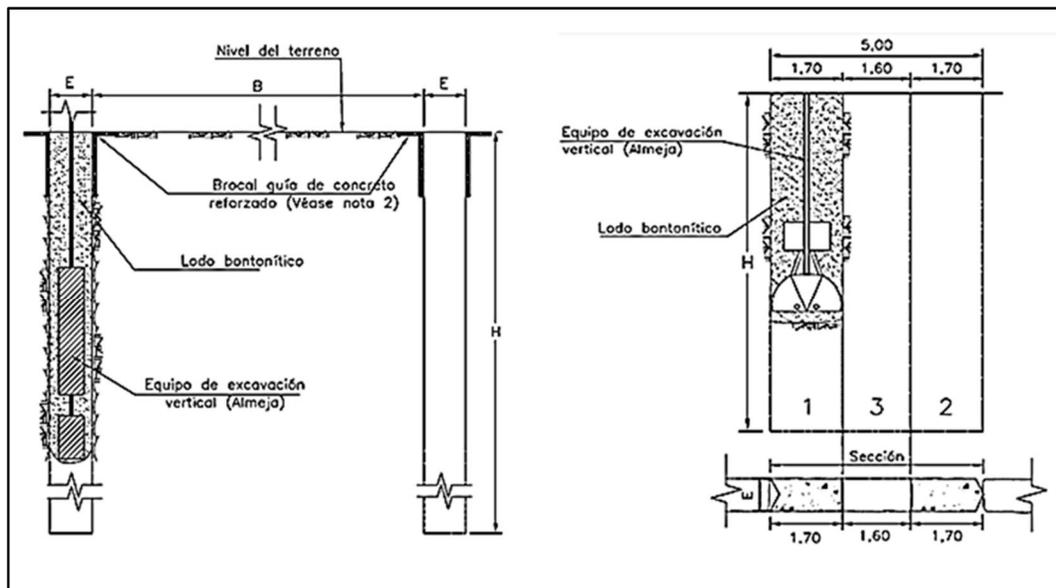
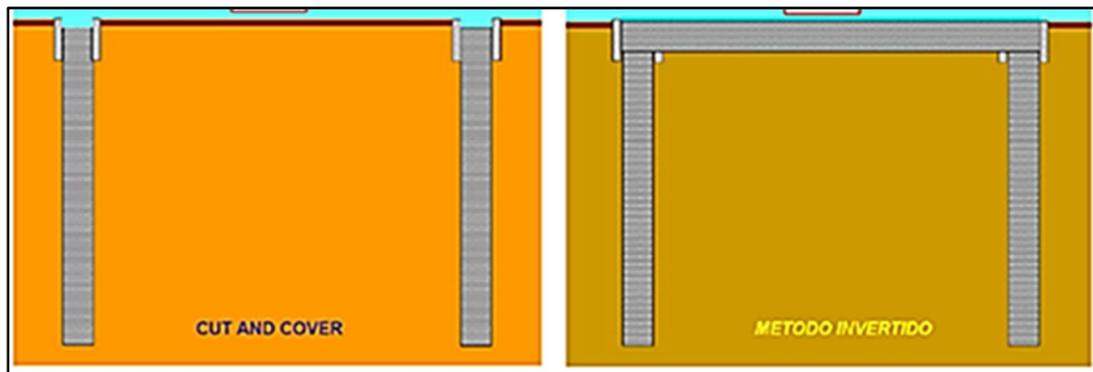




Figura 269. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (cortes)
Fuente: UT MOVIOUS 2022

- Colocación de la jaula de acero de refuerzo.
- Vaciado de concreto tremie, que por diferencia de densidades desaloja el lodo de bentonita del hueco.
- Con la misma metodología se construyen las pantallas interiores desde la superficie, tanto longitudinales como transversales.
- En el caso de la estación 1, se construyen los barretes columna desde la superficie como parte de las pantallas de apoyo de estas columnas.
- Una vez construidas las pantallas y barretes se procede con la conformación del tapón de jet grouting desde la superficie. Para ejecutar la columna de suelo cemento se realiza una perforación, usualmente de 10 cm de diámetro hasta el fondo de la columna a construir. En este punto se inicia el proceso de inyección de lechada de cemento y agua que salen a alta velocidad por las toberas laterales, las cuales giran mientras se extrae lentamente el tubo de perforación.
- Una vez construidas las pantallas y el tapón de jet grouting, se inicia la construcción de la tapa superior en concreto reforzado. Cuando la losa está terminada y esta adquiere la resistencia suficiente, puede habilitarse la superficie mientras se continúan los trabajos en el interior.
- Excavación de material de suelo hasta el primer nivel de apuntalamiento, localizado en la parte media entre la losa de techo y el primer mezzanine. Instalación de puntales.
- Excavación de material de suelo hasta el nivel del primer mezzanine. Construcción de la losa de mezzanine. Cuando la losa adquiere la resistencia suficiente, se continúa la excavación hasta el siguiente nivel de apuntalamiento.
- La secuencia de construcción continua de igual forma hasta llegar al nivel del fondo para construir la losa de fondo. En la Figura 270 se aprecia un esquema de excavación del sistema constructivo Cut & Cover, método invertido (top down).



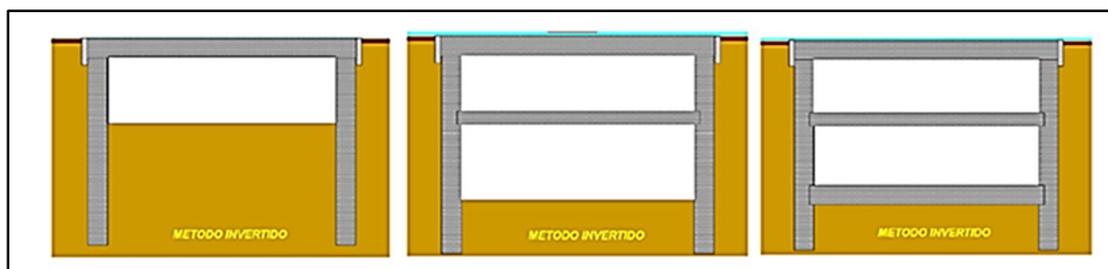


Figura 270. Excavación de pantalla preexcavadas (Cut & Cover. Método invertido)

Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.14.3.1. Tratamientos especiales

En algunas estaciones las pantallas preexcavadas tienen presencia cercana de pilas de puentes vehiculares adyacentes (Tabla 81). Las verificaciones de desplazamientos en zonas aledañas a las estaciones se realizaron con modelación numérica. En términos generales, las pilas de estos puentes vehiculares están apoyadas en dados sobre pilotes hincados de 60 a 80 cm de diámetro de 40 a 50 m de profundidad. Los tratamientos especiales previstos consistirían en el mejoramiento del suelo con columnas de jet grouting o la construcción de barreras longitudinales de micropilotes (Figura 271). Estos tratamientos también serían aplicables para la protección de otras construcciones que pudieran verse afectadas por la construcción de las pantallas de las estaciones (edificios de gran tamaño).

Tabla 81. Localización de principales obras existentes con respecto a las pantallas de las estaciones

ESTACIÓN	OBRA	DISTANCIA A PILA MÁS CERCANA (m)
NQS	Puente sobre la NQS	27
Av. 68	Puente sobre la Av. 68	18 a pila y 4 m a rampa de aproximación
Av. Boyacá	Puente sobre la Av. Boyacá	18
Av. Boyacá	Edificio de apartamentos costado norte de 20 pisos	50
Calle 80	Puente sobre la calle 80	15
Carrera 91	Puente sobre el canal Salitre	58

Fuente: UT MOVIOUS 2022

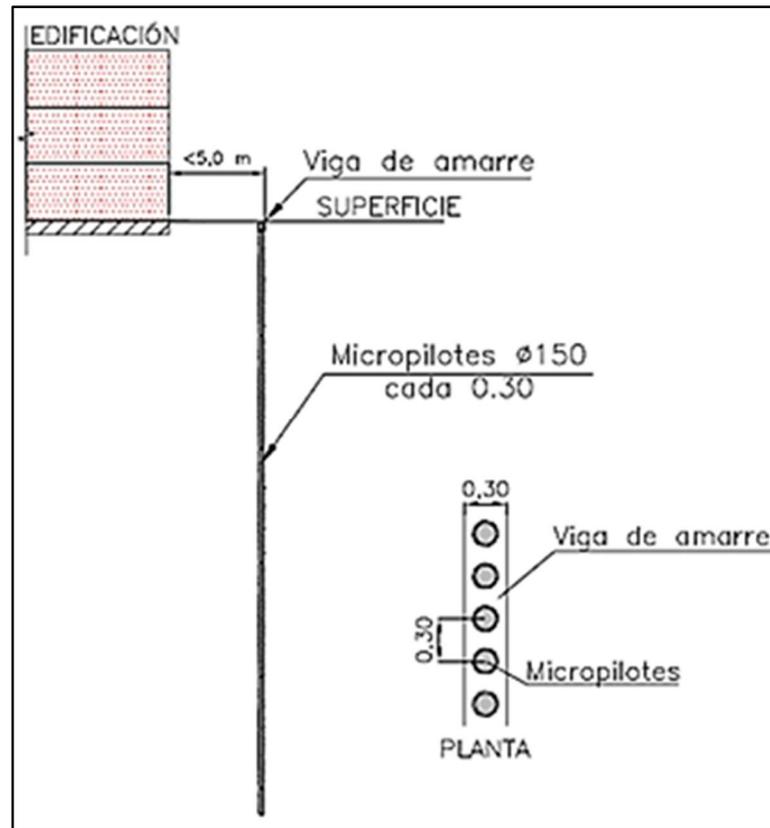


Figura 271. Barreras longitudinales de micropilotes
Fuente: UT MOVIUS 2022

Las estaciones subterráneas se construirán antes del paso de la tuneladora. Para que la máquina EPB tenga un ingreso y una salida segura de las mismas, se ha establecido a los lados de las culatas de los muros pantalla la construcción de un muro de concreto pobre de mortero (Figura 272), así como la perforación de sombrillas de enfilajes o micropilotes.

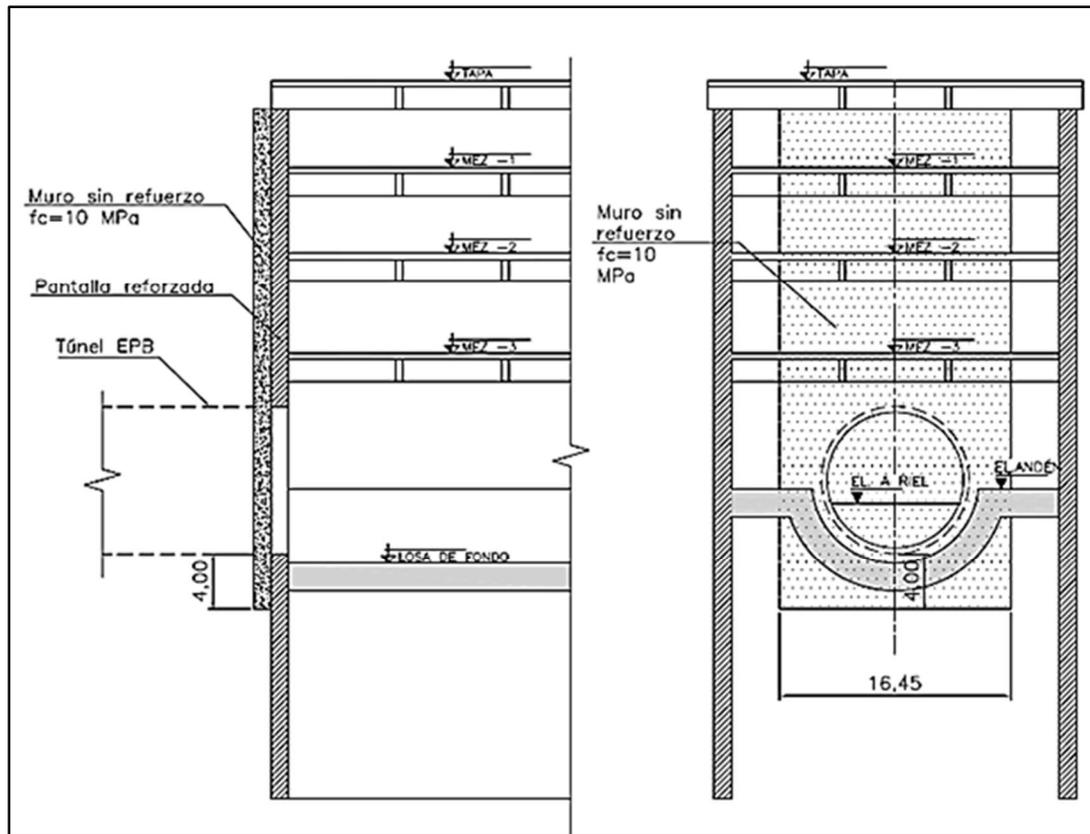


Figura 272. Muro a las entradas y salida de las estaciones (perfil y sección)
Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.14.3.2. Instrumentación

Para el control de las deformaciones tanto de las pantallas como de la superficie del terreno y para verificar su efecto en las estructuras existentes, así como los niveles freáticos en los alrededores de las estaciones subterráneas, se instalarán instrumentos geotécnicos tales como inclinómetros, mojones registradores de movimientos, pines de cobre, piezómetros de hilo vibrátil, piezómetros de tubo abierto alrededor de las estaciones subterráneas, así como celdas de carga en puntales.

Para tener una información más detallada de las deformaciones de las pantallas, se dejarán embebidos en los módulos de las pantallas tubos inclinómetros. Estos tubos inclinómetros pueden alcanzar una profundidad al menos 5 metros por debajo del fondo de la pantalla.

Para controlar las posibles oscilaciones del nivel freático se dispondrán piezómetros de cuerda vibrante o piezómetros abiertos.

Previamente a la realización de las obras, se levantará un inventario fotográfico de las edificaciones vecinas que pueden afectarse por la construcción de cada estación, con especial atención a fisuras y grietas existentes. Otros aspectos a tener en cuenta respecto a las construcciones vecinas son tipo de cimentación, sótanos, tipo

de estructura, antigüedad, etc. También se verificará la proximidad a servicios públicos de gas, agua y alcantarillado entre otros.

Para el control de movimientos de edificaciones existentes se establecerán puntos adecuados de referencia materializados con clavos de tungsteno o pines de cobre.

Con la finalidad de conocer los desplazamientos en superficie del terreno generados por las excavaciones, se colocarán mojones de control de movimientos o pines de cobre en los alrededores de la obra.

Para controlar racionalmente la colocación de los elementos que apuntalan temporalmente los muros preexcavados se instalarán en estas celdas hidráulicas de carga, permitiendo definir con precisión la magnitud de la carga aplicada y comparar estos valores con los teóricos establecidos en el diseño.

En la Figura 273 se muestra la sección transversal de una estación típica de instrumentación.

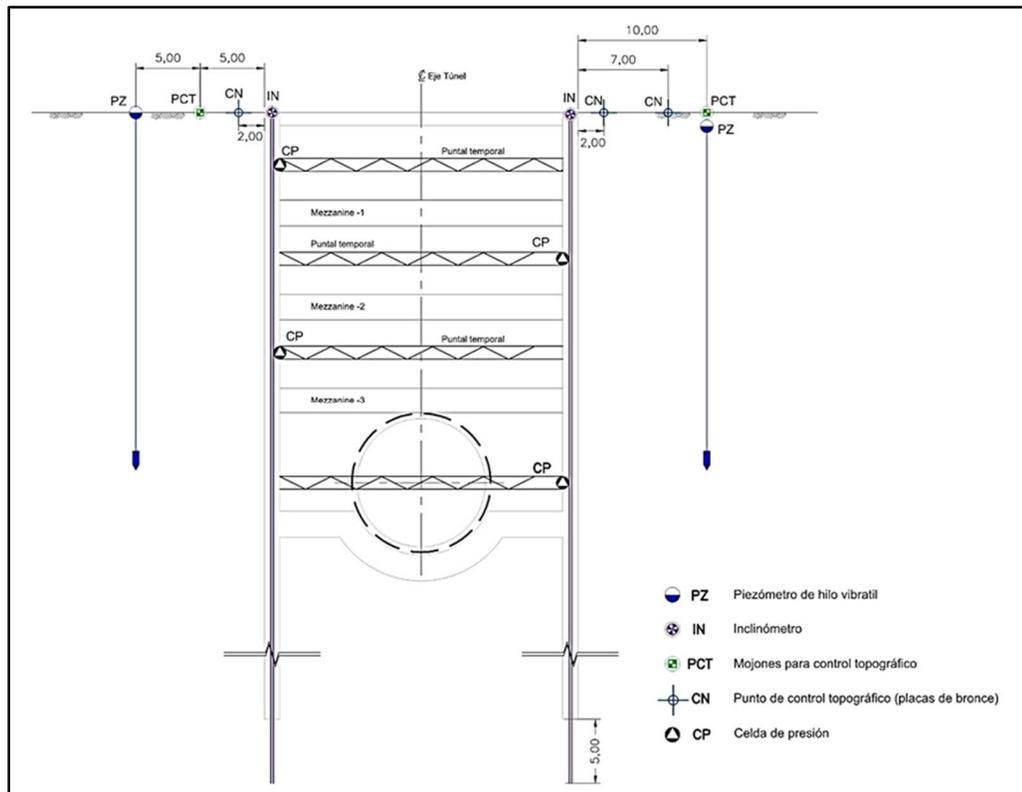


Figura 273. Estación de instrumentación típica en estaciones subterráneas
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.14.4. Viaducto

3.2.14.4.1. Procedimientos constructivos de la subestructura

A continuación se describen los procedimientos constructivos a aplicar para la ejecución de los diferentes elementos que conforman la subestructura del viaducto elevado.

3.2.14.4.1.1. Pilas tipo

Las pilas tipo del viaducto elevado constan de una columna y de un capitel que soporta los tableros gran U. A nivel del proyecto, el Consultor considera que las pilas se construyen coladas in situ en su totalidad, aunque existe la opción de prefabricar el capitel en el parque de prefabricación e instalarlo mediante grúa.

3.2.14.4.1.2. Columnas

Las columnas de las pilas del viaducto estándar son circulares con diámetros comprendidos entre los 1.60m, 1.80m y 2.00m dependiendo de la altura del viaducto y de la zona geotécnica atravesada. Las columnas se construyen coladas in situ encofrados en toda su altura, ya que ésta normalmente se sitúa entre los 1m y 7 m. Así pues, serán necesarias de dos a cuatro puestas de unos 3-4 m.

Si se hace la hipótesis de que se tarda 0.5 días en realizar cada puesta, incluyendo el desmontaje y reinstalación de moldes, el plazo estimado para la ejecución de una columna es de **5 días**:

- a) 0.5 días para instalación de la estructura de andamiaje y encofrados;
- b) 1 día para la instalación del acero de refuerzo y el vaciado completo de la columna;
- c) 3 días de espera antes del desmoldare para que el concreto adquiera resistencia suficiente;
- d) 0.5 día para desmontaje y traslado de encofrado y moldes a siguiente emplazamiento.



Figura 274. Construcción de fustes de pila para viaducto de metro
Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.14.4.1.3. Capitel

1) Capitel colado in situ

Una vez construida la columna, el capitel se construye colado in situ sobre una cimbra especial que normalmente se apoya sobre el terreno vía una estructura de andamiaje o de soportes especiales a ambos lados del fuste.

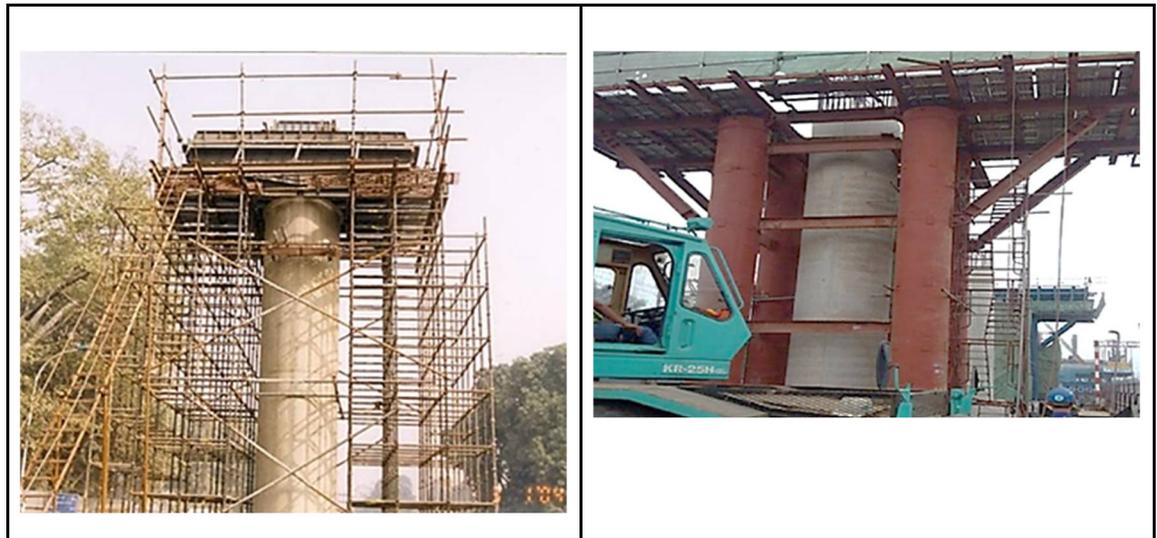


Figura 275. Construcción de capitel colado in situ sobre cimbra apoyada en el suelo
Fuente: UT MOVIOUS 2022

En caso de que existan restricciones de ocupación del suelo debajo, o si la altura de pila no es considerable, se puede recurrir a una cimbra que se sujete a la coronación de la columna mediante unos brackets, tal y como se muestra en la imagen a continuación.



Figura 276. Capitel colado in situ sobre cimbra soportada por brackets (metro de Ho Chi Minh)
Fuente: UT MOVIOUS 2022

El ciclo estimado para la construcción de un capitel de pila es de 12 días:

- a) 1 día para la instalación de la estructura de andamiaje, cimbra y moldes;
- b) 1,5 días para la instalación de la jaula de ferralla, que viene premontada;
- c) 0,5 días para el colado del capitel;
- d) 7 días de fraguado del concreto
- e) 1 día para el enfilado de los cables de postensado (1era fase) y el primer tensado de cables;
- f) 1 día para desmontaje y traslado de la cimbra.

Las tareas de instalación de los aparatos de apoyo y del tensado final de los cables del capitel se pueden sacar del ciclo ya que pueden ser llevadas a cabo por equipos diferentes posteriormente a la ejecución de la pila, pero antes de la construcción del tablero.

2) Capitel prefabricado

Un método de construcción alternativo para capiteles, que ya ha sido empleado en otras obras similares, consistiría en prefabricarlos en un área de prefabricación, transportarlos a la obra mediante tráileres, e instalarlos sobre la columna con una grúa. La conexión columna-capitel se ejecutaría in situ, así como la instalación y tesado del pre esforzado del capitel.

Con esta opción el ciclo se reduce, y se evita disponer costosas cimbras para el colado in situ, aunque por otro lado es necesario contar con una grúa móvil capaz de izar y colocar una masa de unas 60 a 90 toneladas con un radio aproximado de 10 m. Por otro lado, es necesario tener en cuenta los costes de transporte dado el número de elementos a poner en obra.

Dado que la fabricación del capitel se saca del ciclo, la puesta en obra completa de un capitel prefabricado puede estimarse en 3-4 días:

- a) 1 día para la instalación del collar metálico de soporte del capitel prefabricado en coronación de pila, y para la colocación del capitel con grúa;
- b) 1 día para el ajuste del posicionamiento del capitel, y para el colado de la conexión con la columna;
- c) 1-2 días para el enfilado y puesta en tensión de los cables de postensado, dependiendo de la velocidad con la que se desarrolle la resistencia de la conexión in situ capitel-columna. También para el desmontaje del anillo.

De cara a la estimación de recursos constructivos y plan de obra, se va a considerar que los capiteles de las pilas tipo se ejecutan colados in situ.



Figura 277. Instalación de capitel prefabricado sobre anillo de posicionamiento

Fuente: UT MOVIOUS 2022

3) Pórticos de hasta 9 m de luz

Se trata de un pórtico con dintel de concreto reforzado, y esta rígidamente conectado a las columnas.

El dintel del pórtico es una viga trapezoidal de concreto reforzado de 2.4 m de canto que se ejecuta in situ sobre cimbra porticada dispuesta sobre el terreno. Está rígidamente conectado a las columnas.

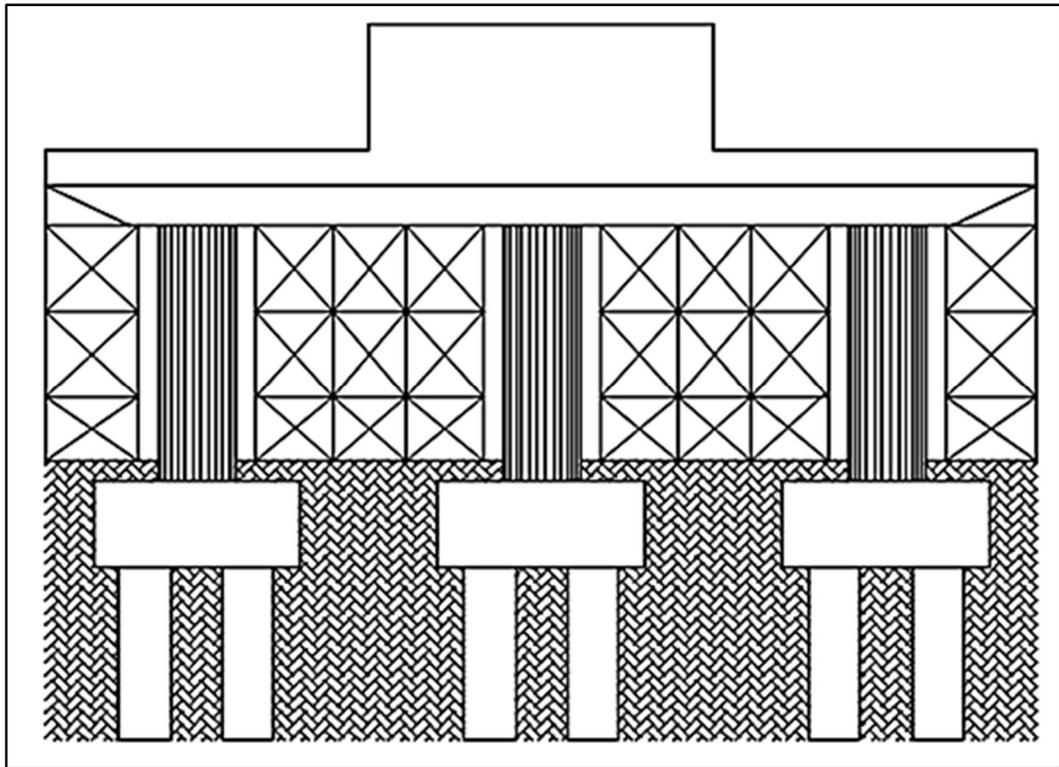


Figura 278. Croquis mostrando procedimiento de ejecución de pórtico
Fuente: UT MOVIUS 2022

El plazo de ejecución de un pórtico de este tipo puede estimarse en 27 días:

- 15 días para ejecución de las columnas con un solo equipo;
- 5 días para la instalación de la cimbra;
- 4 días para instalación de la jaula de ferralla y colado;
- 2-3 días para desmontaje de cimbra.

3.2.14.4.2. Procedimientos constructivos de la superestructura

A continuación, se describen los procedimientos constructivos a aplicar para la ejecución de los diferentes tipos de viaducto elevado, tanto estándar como no estándar.

3.2.14.4.2.1. Viaducto estándar

La tipología de viaducto estándar finalmente retenida es la sección gran U formada por una única viga que soporta las dos vías del metro elevado. Se configura en vanos isostáticos de hasta 20m y 30m de luz entre ejes de pilas, simplemente apoyados sobre aparatos de apoyo de neopreno zunchado de núcleo de plomo.

El procedimiento constructivo consiste en el montaje vano a vano mediante viga lanzadora y dovelas prefabricadas.

Se trata de un método constructivo perfectamente adaptado al contexto urbano de Bogotá, ya que su ejecución se independiza totalmente de los tableros del suelo. Así, una vez finalizada la construcción de la subestructura, se puede restituir una buena parte del tráfico en el tramo de avenida por la que discurre la traza del metro (siempre será necesario prever cada cierta distancia alguna zona de acopio de dovelas bajo la sombra del viaducto).



Figura 279. Montaje del tablero gran U del metro de Ho Chi Minh mediante viga lanzadora
Fuente: UT MOVIUS 2022

- Prefabricación de dovelas

Las dovelas que conforman los vanos gran U se fabrican en un parque de prefabricación que habrá que montar en algún lugar de Bogotá no demasiado alejado de la traza de la L2MB.

Esta fábrica podrá ser construida desde cero exprofeso para la construcción de la L2MB, o bien una planta de prefabricados de concreto existente podrá adaptar su planta a los requerimientos del proyecto.

La prefabricación se lleva a cabo por el sistema de dovelas conjugadas. Esto consiste en colar cada dovela utilizando como molde de la cara de junta la dovela anteriormente colada.

Para ello se empieza por fabricar una de las dovelas de pila, y a partir de ella el resto de las dovelas que forman un vano. Así, por ejemplo, la cara frontal de la dovela 1 servirá de molde para la cara dorsal de la dovela 2.

La primera dovela que hay que ejecutar es una de las dovelas de pila, cuyo colado se realiza en un molde distinto al de las dovelas estándar, ya que la geometría de la sección es ligeramente diferente. Además, en el

molde de la dovela de pila existe un encofrado para la cara dorsal, ya que al no existir dovela anterior a la de pila para hacerla conjugada en banco corto, hay que realizarla contra un encofrado.

Se utilizan dos tipos de líneas de fabricación de dovelas:

- Banco corto para vano en curva y dovelas de pila
- Banco largo para vano recto

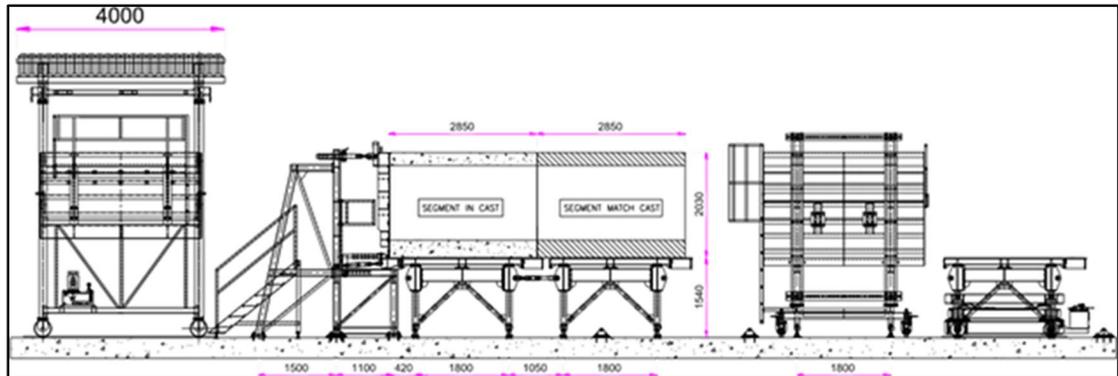


Figura 280. Croquis mostrando banco corto
Fuente: UT MOVIUS 2022



Figura 281. Banco corto y molde para dovela de pila
Fuente: UT MOVIUS 2022

Al lado de los bastidores que soportan los encofrados y moldes de las dovelas se dispone un taller de preparación de las jaulas de refuerzo.

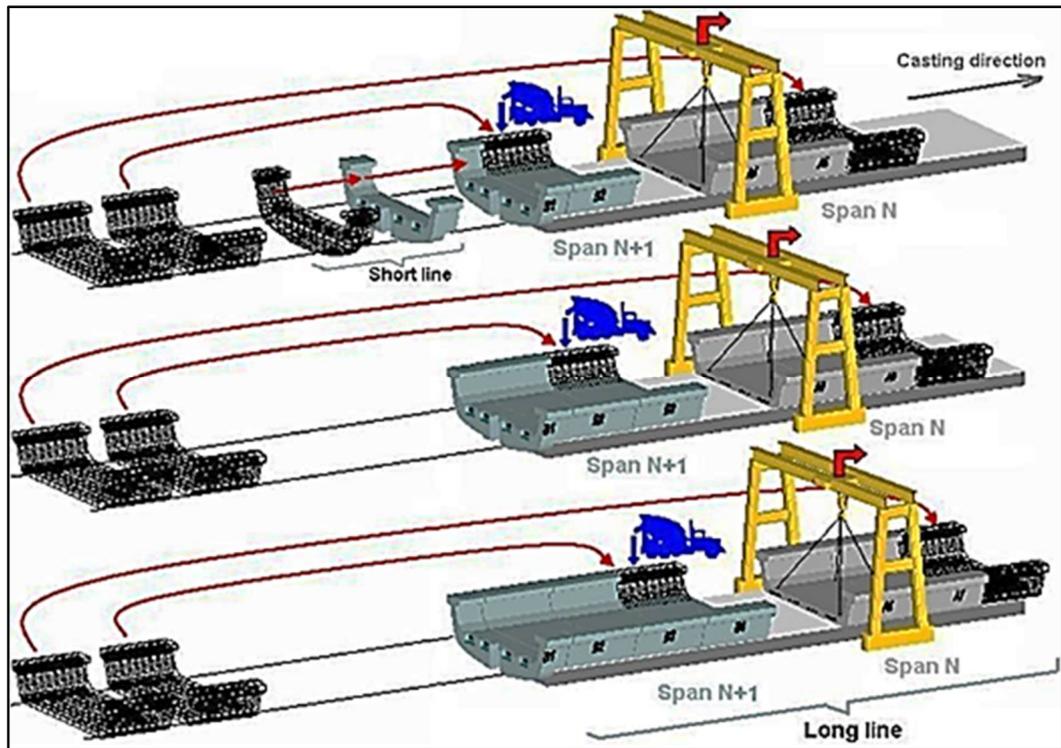


Figura 282. Croquis mostrando banco largo
Fuente: UT MOVIUS 2022

El molde para la fabricación de las dovelas se denomina célula de prefabricación. Ésta consiste en un encofrado al que le falta la cara dorsal. En la célula de prefabricación se encuentra, en primer lugar, la máscara, que es la cara frontal del molde. En ésta se disponen los agujeros necesarios para el trazado de los ductos de pretensado, y los resaltes que conforman las llaves múltiples para absorber las fuerzas de corte en la junta.

La célula de prefabricación se completa con el molde interior que está sujeto entre la máscara y la dovela conjugada y que es abatible y replegable para permitir el desencofrado y movimiento de extracción de una dovela, una vez que ésta se ha endurecido lo suficiente.

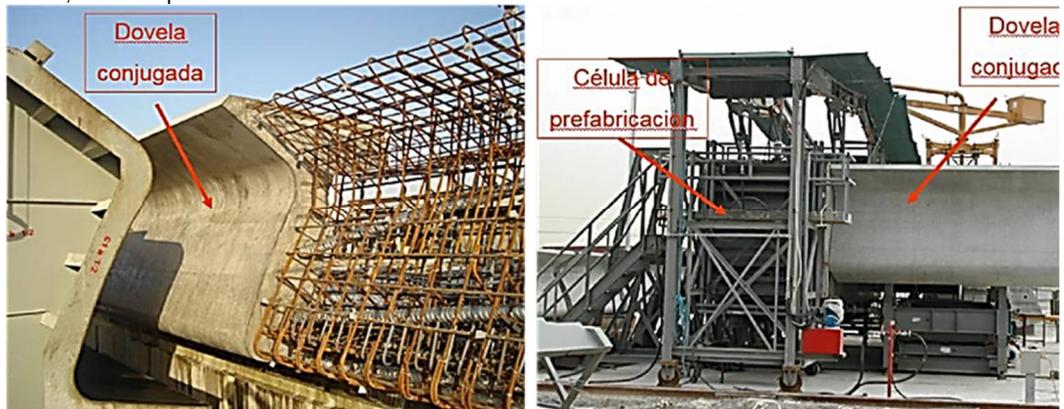


Figura 283. Célula de prefabricación de dovela estándar
Fuente: UT MOVIUS 2022

Además, la célula incorpora una tercera zona para la entrega de dovelas a un pórtico grúa sobre rieles, para su retirada a la zona de acopio.

En el parque de prefabricación se han de construir las dovelas de una forma tal que una vez ensambladas en el viaducto, den la forma prevista al mismo. Por ello se controla, en la célula de prefabricación, la posición de la dovela conjugada con respecto a la dovela que va a ser colada.

Esta posición relativa determina la forma en planta y alzado de la dovela que se va a fabricar, de tal modo que se va produciendo la forma de trazado proyectado para el viaducto.

El control se realiza moviendo la dovela conjugada que actúa de cara dorsal en el molde. El movimiento de esta dovela se realiza por medio de la central hidráulica descrita en el apartado anterior, y las magnitudes que han de tener estos movimientos se determinan con mediciones topográficas que se realizan en diferentes puntos de referencia tanto en la cara dorsal de la dovela conjugada como en la frontal de la dovela a fabricar.

Existe un control topográfico diferenciado para el control en planta, y otro para el control en alzado.

Tras el colado de la dovela, se ha de aplicar un curado al vapor en las condiciones apropiadas en la misma célula. Y una vez el curado al vapor finalizado, se ha de proseguir el curado húmedo durante unos días. La zona de curado húmedo se encuentra detrás de la célula de prefabricación. Asegurar un correcto curado de las dovelas es de extrema importancia de cara a evitar problemas de fisuración por retracción, así como para garantizar un desarrollo de la resistencia y las exigencias de durabilidad requeridas a la estructura.

El conjunto formado por la célula de prefabricación, el área de preparación de ferralla y zona de curado se conoce como línea de producción. Deben de estar cubiertas de cara a evitar la exposición a la humedad relativa ambiental, los cambios de temperatura, y el viento.

Detrás de las líneas de producción, se extiende la zona de acopio de las dovelas, normalmente al aire libre. Las dovelas son llevadas a la zona de acopio mediante el pórtico grúa sobre rieles desde la zona de curado detrás de la célula de prefabricación.

Las dovelas se pueden almacenar en uno o dos pisos. El acopio a doble nivel permite ganar espacio y reducir el área total del parque de prefabricación, ya que las dovelas han de permanecer un periodo aproximado de dos meses en el parque antes de ser transportadas a obra e instaladas mediante la viga lanzadora. Para el acopio de dovelas en dos pisos se deben tomar las precauciones necesarias, y la altura del pórtico grúa debe ser superior.



Figura 284. Áreas de acopio de dovelas en parques de prefabricación

Fuente: UT MOVIOUS 2022

El parque de prefabricación se completa con las instalaciones auxiliares como la central de concreto, el taller de preparación de ferralla, las oficinas y otros locales técnicos, y un aparcamiento. Además, se han de disponer de vías de circulación entre líneas de producción de anchura suficiente para el paso de la maquinaria del parque (camiones de concreto, tráileres, etc.).

Para la fabricación de los tableros de la extensión de la extensión de la PLMB en los plazos estimados, la superficie requerida del parque que se ha estimado está en torno a las 2 a 3 ha.

Podrán montarse uno o varios parques, y será lógico que estén situados a las afueras de Bogotá.



Figura 285. Vista aérea de parque de prefabricación para L4 de Metro de Santiago de Chile

Fuente:UT MOVIOUS 2022

- Transporte de dovelas

El transporte de las dovelas a obra se realiza mediante camiones equipados con remolque hidráulico de cama baja. El peso de las dovelas puede variar de 45 ton para una dovela tipo de vano estándar, hasta las 60 ton para las dovelas de pila central de los módulos continuos de dos vanos.



Figura 286. Transporte de dovelas mediante remolques de cama baja
Fuente: UT MOVIOUS 2022

Es muy importante que se dispongan zonas de acopio intermedias a poca distancia de cada frente de ejecución de tablero. Se han previsto de 1 viga de lanzamiento, por lo que será necesario encontrar 1 terreno en las proximidades de la traza donde almacenar temporalmente las dovelas hasta ser transportadas para su instalación definitiva mediante el procedimiento descrito a continuación.

- Montaje mediante viga lanzadora

La viga lanzadora es una máquina que pesa unas 450 ton y mide unos 110 m de longitud (aproximadamente la longitud de 3 vanos tipo).

Las fases de las que consta el ciclo de montaje de un vano son las siguientes:

- a) Se posiciona la viga lanzadora apoyada sobre la pila frontal del tramo a construir y el tramo contiguo ya construido.
- b) Se realiza la izada dovela por dovela con ayuda de un guinche instalado en la viga lanzadora y se cuelgan sucesivamente a las barras atirantadas sujetas a la viga lanzadora.
- c) Posteriormente se aplica un adhesivo epóxico entre dovelas. Para mantenerlas fijas, se aplica una compresión uniforme tensando barras temporales.
- d) Se realiza el primer enfilado de cables de postensado y la primera fase de puesta en tensión para la carga de peso propio.
- e) El vano completo desciende descolgándose las dovelas de la viga lanzadora y queda apoyado sobre los capiteles de las pilas, transfiriendo así las cargas a la subestructura.
- f) La viga lanzadora se avanza hacia el vano siguiente para recomenzar el ciclo.
- g) Para finalizar el ciclo de montaje se realiza el enfilado de los cables restantes y la puesta en tensión final de postensado del vano (si esto fuera necesario).

Las dovelas prefabricadas se pueden suministrar directamente por tierra mediante camiones con remolques y ser acopiadas temporalmente sobre el terreno en la sombra del vano a construir. Este sistema implica un mayor movimiento de grandes camiones con remolque hasta el frente de avance cada semana, por lo que se debe

estudiar muy bien la gestión del tráfico. Idealmente, el transporte de dovelas hasta la obra debería hacerse de noche.

Sin embargo, tiene como gran ventaja el garantizar que cuando la máquina llegue al vano a ser construido, todas las dovelas del vano estén preparadas bajo el mismo listas para ser izadas. Es por ello por lo que se elimina cualquier riesgo de empeorar el rendimiento de montaje.

Se debe prever una grúa móvil que desplace las dovelas desde el camión hasta la zona de acopio temporal en la traza.

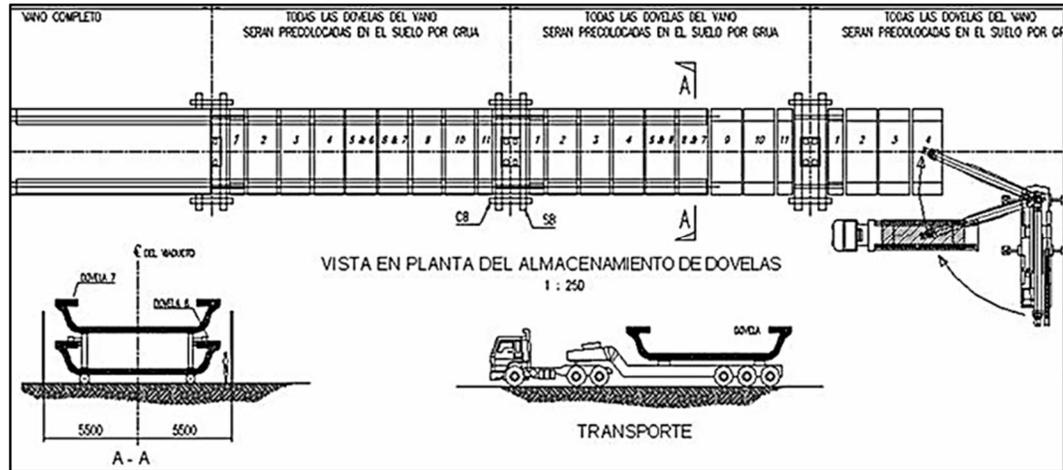


Figura 287. Suministro de dovelas hasta frente de obras mediante camiones
Fuente: UT MOVIOUS 2022



Figura 288. Acopio de dovelas bajo viaducto
Fuente: UT MOVIOUS 2022

La duración de un ciclo completo, con las dovelas previamente suministradas mediante camiones y acopiadas a pie de obra, se estima en 3.5 días:

Avance de la viga lanzadora: 10 horas

- a) Izado de segmentos: 8 horas
- b) Aplicación de adhesivo epóxico y tensado de barras temporales: 10 horas
- c) Enfilado y primer tensado de los cables de postensado permanentes: 6 horas
- d) Descenso del vano sobre pilas: 1 hora
- e) Segundo tensado de los cables: 3 horas

Otra opción posible para los casos en que el viaducto elevado discorra por avenidas que soportan un tráfico importante, o por las cuales discorra una troncal de Transmilenio, es el suministro de dovelas directamente sobre los tableros ya construidos. Así, las dovelas se transportan por carretera hasta un punto de fácil acceso y descarga al inicio del frente de obra, se izan mediante grúa, y se transportan por los vanos gran U ya ejecutados hasta el vano a ejecutar mediante una grúa elefante o algún dispositivo de transporte equivalente que circule sobre neumáticos o rieles por la losa inferior de la viga gran U.

La gran ventaja de este método es un menor impacto al tráfico rodado mixto embargo. Sin embargo, un posible inconveniente estaría relacionado con el ciclo de montaje de un vano tipo el cual podría ver ligeramente prolongado en función de la distancia entre el punto de suministro de dovelas y el punto de recepción de estas por la viga lanzadora.

Los frentes de obra asociados a una viga lanzadora son de 4 km aproximadamente. Suponiendo que el carro con ruedas que suministro recoge y transporta las dovelas por el tablero hasta el frente de obra recorre esa distancia máxima, a una velocidad de 10 km/h, se puede estimar que, como mucho tarda 1 hora en cargar la dovela, hacer el viaje de ida, entregar la dovela al gúinche de la viga lanzadora, y volver al punto de suministro de dovelas.

Así, el tiempo de suministro de dovelas a la viga lanzadora sería como máximo de 11 horas para un vano tipo de 30 m formado por 11 dovelas.

Se observa que el tiempo de suministro de dovelas aumenta unas 5 horas para el caso más extremo (con mayor longitud de transporte) con respecto a la opción de izar las dovelas suministradas mediante camiones en la vertical del vano a construir. Por otro lado, también es cierto que se podría simultanear la tarea de aplicación de adhesivo epóxico y tensado de barras temporales con el suministro de las dovelas finales del vano.

Una vez realizadas estas consideraciones, se puede estimar la duración de un ciclo completo, con las dovelas suministradas obra través del tablero ya construido:

- a) Avance de la viga lanzadora: 10 horas
- b) Suministro de dovelas a frente de obra y recepción por viga lanzadora: 11 horas
- c) Aplicación de adhesivo epóxico y tensado de barras temporales: 10 horas
- d) Enfilado y primer tensado de los cables de postensado permanentes: 6 horas
- e) Descenso del vano sobre pilas: 1 hora
- f) Segundo tensado de los cables: 3 horas

La duración del ciclo es de 4 días.

El segundo tensado de los cables de pre-esfuerzo así como el desmontaje de las barras temporales, se realizan una vez la viga lanzadora ha avanzado por un equipo diferente.

Una secuencia posible de montaje se presenta en los croquis a continuación. El detalle de la cinemática dependerá del modelo de la viga lanzadora en cuestión y del fabricante.

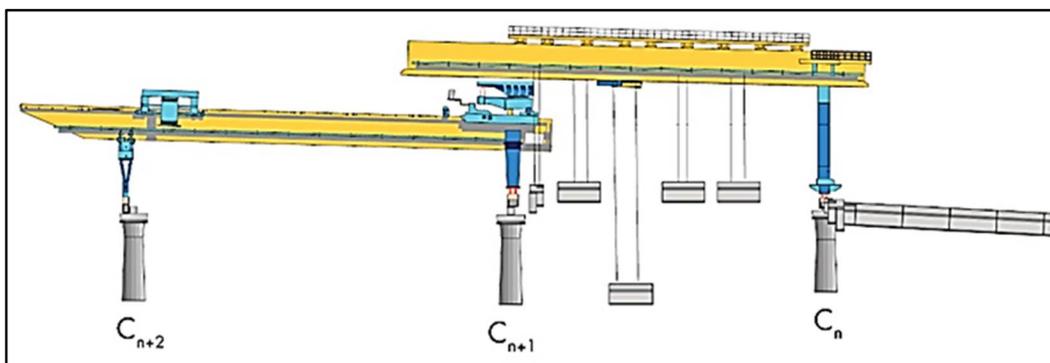


Figura 289. Izado de las dovelas
Fuente: UT MOVIUS 2022

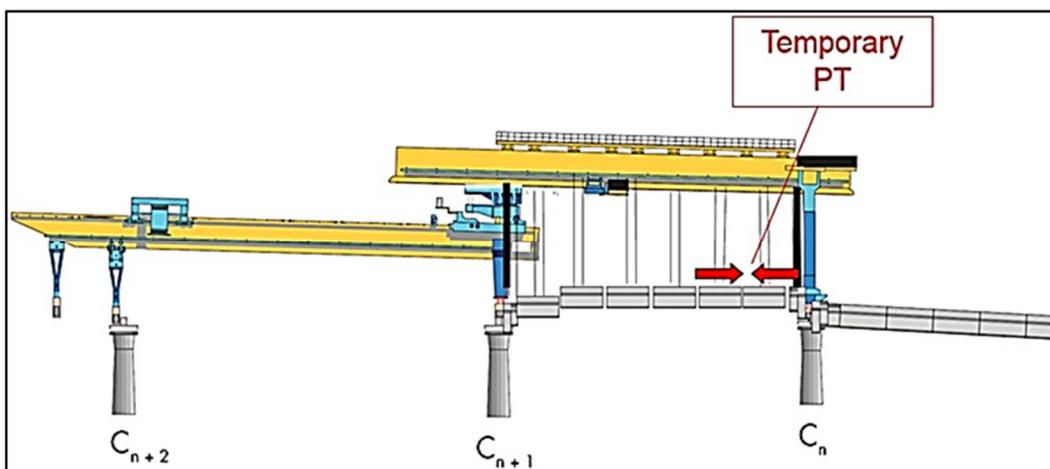


Figura 290. Aplicación del adhesivo epóxico y tensado de barras temporales
Fuente: UT MOVIUS 2022

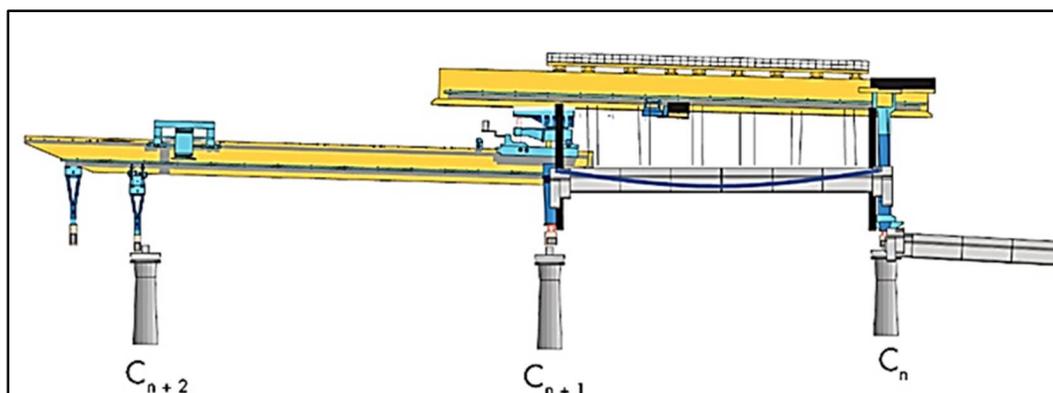


Figura 291. Tensado de los cables de presfuerzo
Fuente: UT MOVIUS 2022

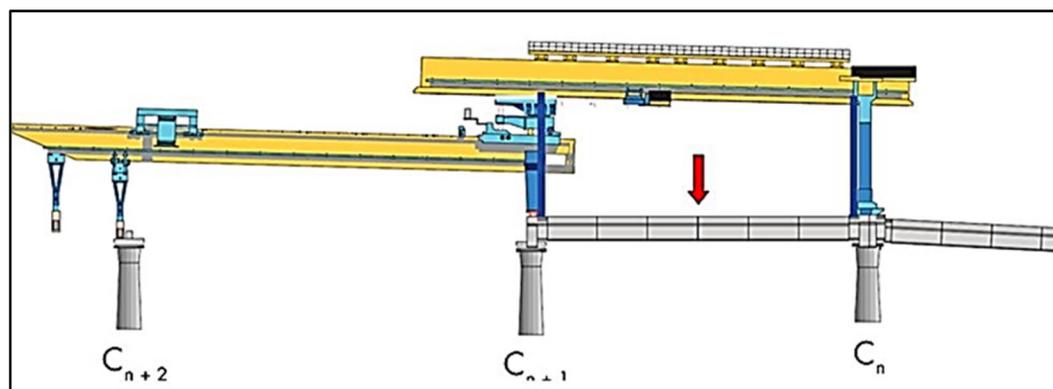


Figura 292. Descenso del vano sobre pilas
Fuente: UT MOVIUS 2022

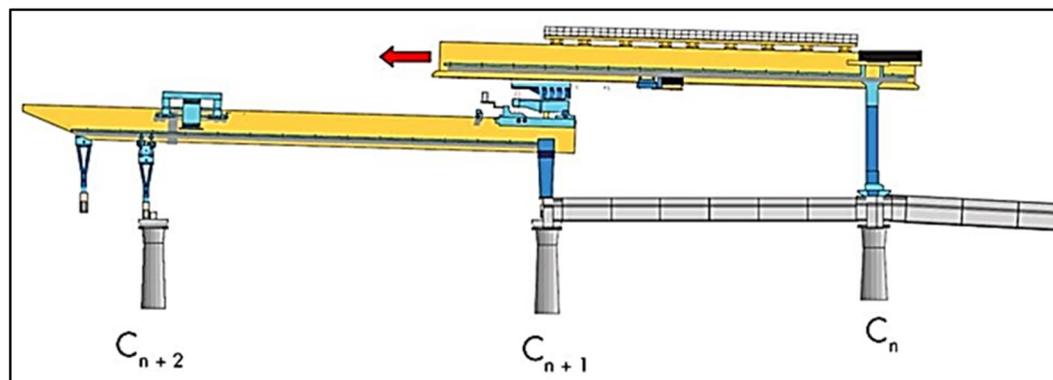


Figura 293. Avance de la viga lanzadora, Fase 1: avance de la viga superior sobre la viga inferior (1)
Fuente: UT MOVIUS 2022

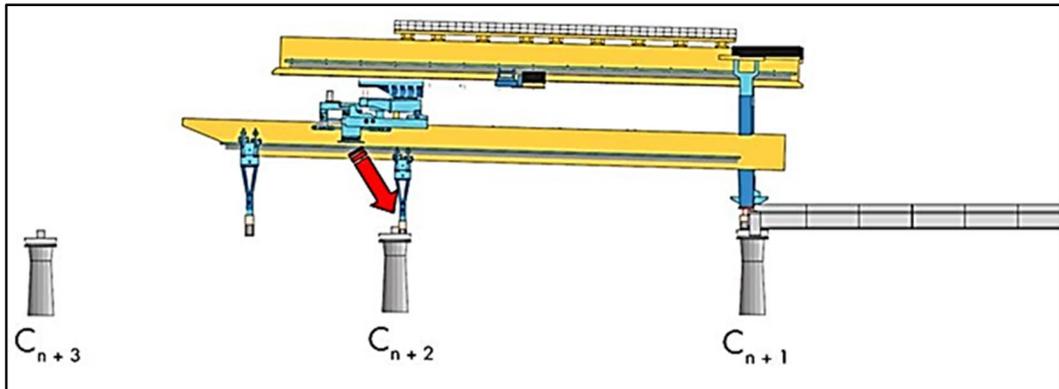


Figura 294. Avance de la viga lanzadora, Fase 2: avance de la viga superior sobre la viga inferior (2)
Fuente: UT MOVIUS 2022

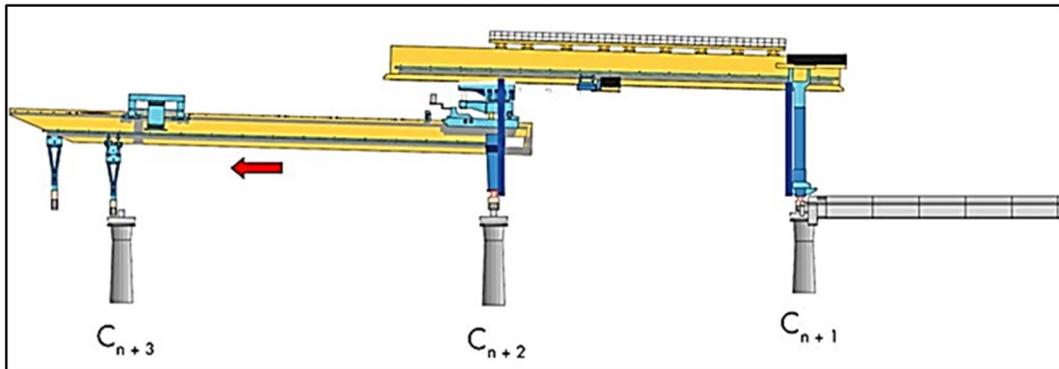


Figura 295. Fase 3: avance de la viga inferior. Viga lanzadora lista para nuevo vano
Fuente: UT MOVIUS 2022

A continuación se muestran algunas imágenes tomadas en su mayoría durante la construcción de la Línea 4 del Metro de Santiago de Chile, que ilustran el procedimiento constructivo descrito.



Figura 296. Izado de dovelas mediante viga lanzadora
Fuente: UT MOVIUS 2022

Como se puede observar, las dovelas se pueden izar agarradas por la losa inferior, o por las alas superiores sobre las almas. Será necesario dimensionar correctamente estos elementos en función del sistema retenido.



Figura 297. Ensamblaje temporal de dovelas mediante barras de pre esforzado y aplicación de adhesivo epóxico

Fuente: UT MOVIOUS 2022



Figura 298. Carro de apoyo de la viga lanzadora y sistema de avance sobre tablero

Fuente: UT MOVIOUS 2022



Figura 299. Avance de la viga lanzadora a vano siguiente

Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.14.4.2.2. Viaductos especiales.

Existen diferentes tipos de viaducto especiales en función de la luz a salvar. A continuación, se describen los procedimientos constructivos asociados a cada tipología.

- Módulo continuo de dos vanos

Esta tipología es apta para luces de 45m. Consiste en un módulo continuo a base de dos vanos de igual luz con sección tipo gran U, idéntica a la del viaducto estándar. La continuidad estructural se materializa en la pila central colando in situ la franja entre las dos vigas y cosiéndola con postensado de continuidad.

La primera ventaja asociada a esta tipología es la de lograr la continuidad formal desde el punto de vista estético con los vanos de viaducto estándar adyacentes.

La sección gran U alrededor de la pila central se acuartela aumentando ligeramente el canto en las tres dovelas a cada lado de esta.

Por otro lado, este tipo estructural se adapta tanto a tramos rectos como curvos en planta.

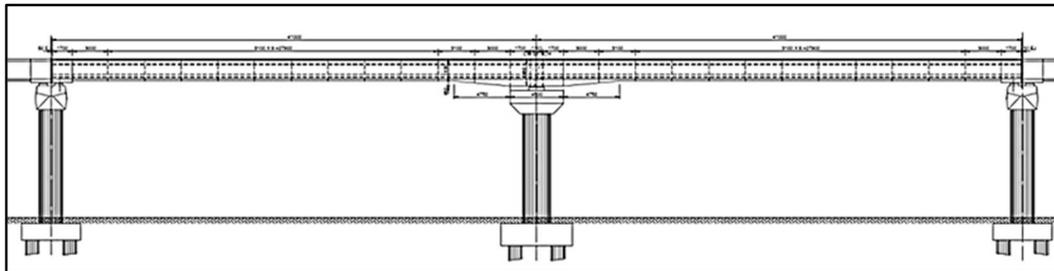


Figura 300. Configuración tipo para módulo continuo de dos vanos

Fuente: UT MOVIOUS 2022

La segunda gran ventaja de esta tipología es que se construye con dovelas prefabricadas instaladas con la misma viga lanzadora que los vanos de viaducto estándar adyacentes. De este modo, no es necesario desmontar la viga lanzadora en estos puntos conflictivos que precisan de una luz de hasta 45m, y no se penaliza al programa.

Los vanos tienen que ser capaces de resistir su propio peso en configuración isostática para una luz mayor que la estándar, y si en el frente de obra asignado a la viga lanzadora hay algún módulo de este tipo, la máquina deberá ser dimensionada para una luz mayor que la estándar.

Una vez la máquina se ha movido para seguir con la construcción de vanos posteriores, otro equipo diferente entra en escena para colar in situ el diafragma sobre la pila central e instalar el postensado de continuidad.

La secuencia constructiva se esquematiza en los croquis que se presentan a continuación.

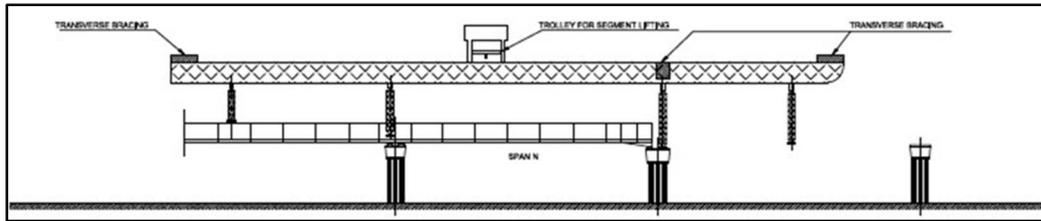


Figura 301. Construcción del vano 1 mediante viga lanzadora
Fuente: UT MOVIUS 2022

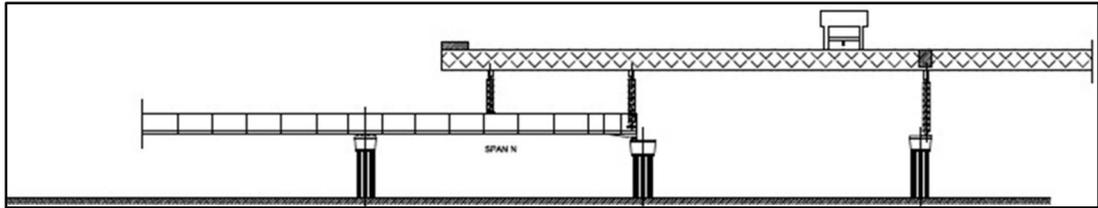


Figura 302. Avance de la viga lanzadora a vano 2
Fuente: UT MOVIUS 2022

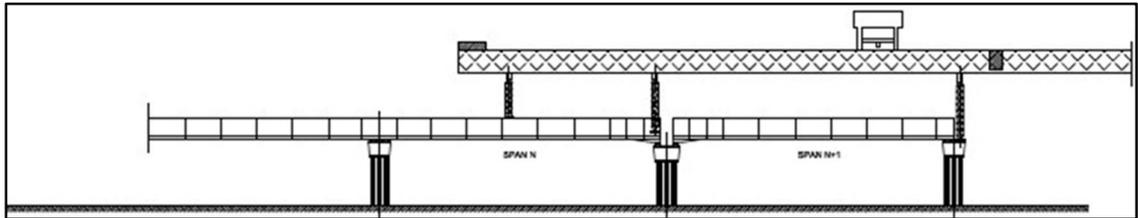


Figura 303. Construcción del vano 2 mediante viga lanzadora
Fuente: UT MOVIUS 2022

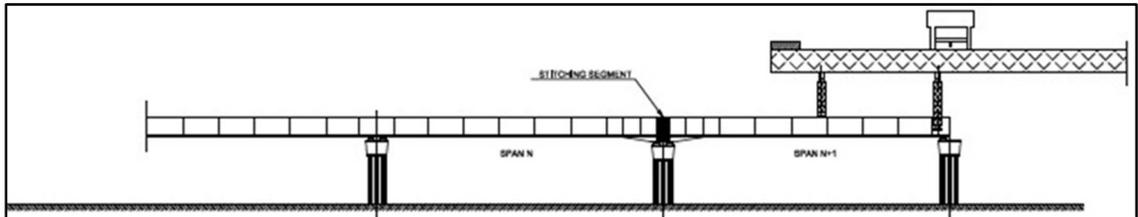


Figura 304. Avance de la viga lanzadora y colado del diafragma sobre pila central
Fuente: UT MOVIUS 2022

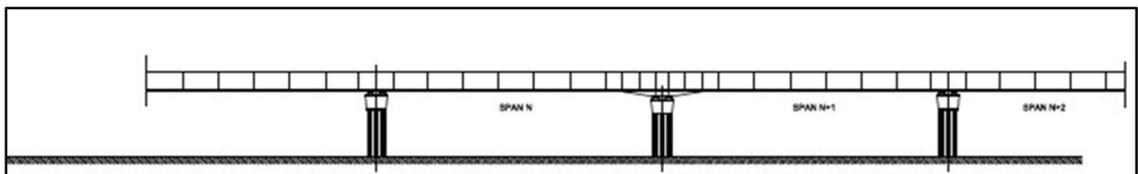


Figura 305. Tensado de cables de continuidad sobre pila central
Fuente: UT MOVIUS 2022

Así, el ciclo a considerar viene determinado por el del viaducto estándar. Se consideran **10 días por módulo** (o 5 días por vano):

- a) Construcción del primer vano mediante viga lanzadora: 5 días (uno día más que el vano tipo de 45 m debido al mayor número de dovelas);
 - b) Construcción del segundo vano mediante viga lanzadora: 5 días
 - c) Instalación de moldes de encofrado para dovela de continuidad en pila central: 0.5 días
 - d) Instalación de jaula de ferralla para diafragma central: 0.5 días
 - e) Vaciado del diafragma en pila central: 1 día
 - f) Instalación de postensado de continuidad: 1 día
 - g) Tensado de cables de continuidad y transferencia de reacciones a aparatos de apoyo definitivos: 1 día

La ejecución del diafragma central y la instalación del postensado de continuidad se sacan fuera del ciclo ya que se trata de actividades que realiza un equipo diferente una vez la viga lanzadora se ha movido al vano siguiente.

- Módulo en vigas prefabricadas

Los tableros constituidos por vigas prefabricadas de hormigón pretensado con losa de hormigón armado construida in situ, constituyen la solución de los accesos al patio ferroviario y en la zona de los aparatos de vía con pasos entre 30 a 40m. Su extrema simplicidad, facilidad y rapidez de su montaje y los altos rendimientos mecánicos de su sección transversal, los hacen altamente recomendable.

Vigas fabricadas en taller, consiste en una prefabricación industrial realizada en una planta de prefabricación, alejado del lugar de construcción, en taller se realizan intensos controles de calidad, y pueden para un mismo puente pueden fabricarse diversas longitudes.

El procedimiento de colocación puede ser mediante grúas o con viga de lanzamiento

La utilización de un procedimiento u otro depende en cada caso, de la accesibilidad de la obra, la altura del tablero sobre el terreno, la longitud de la obra, entre otros.

Con grúa, se suelen utilizar cuando el peso no es excesivo, pero las alturas de rasante son normales. Si exceden un límite, la grúa normalmente se apoya en el elemento anterior con el fin de colocar el siguiente.

Con la prefabricación de las vigas, el lanzamiento y colocación de las vigas en su ubicación definitiva. Finalmente se colocan las prelosas entre las vigas y se hormigona y se colocan todos los elementos funcionales, como aparatos de vía, juntas de dilatación, barreras y drenaje.

La secuencia constructiva se esquematiza en los croquis que se presentan a continuación

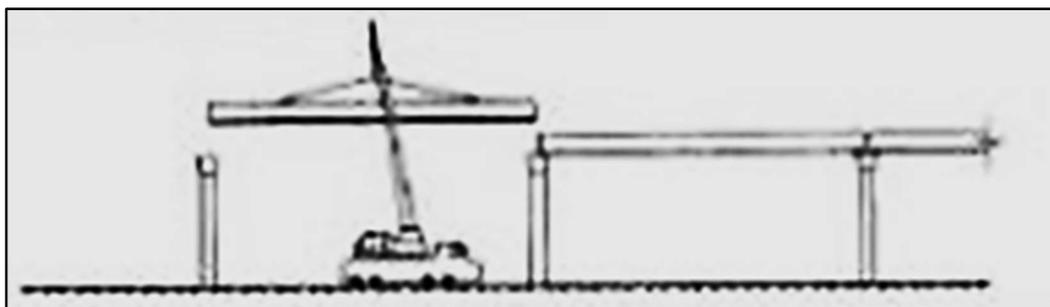


Figura 306. Construcción del vano mediante grúas apoyado en el suelo
Fuente: UT MOVIUS 2022

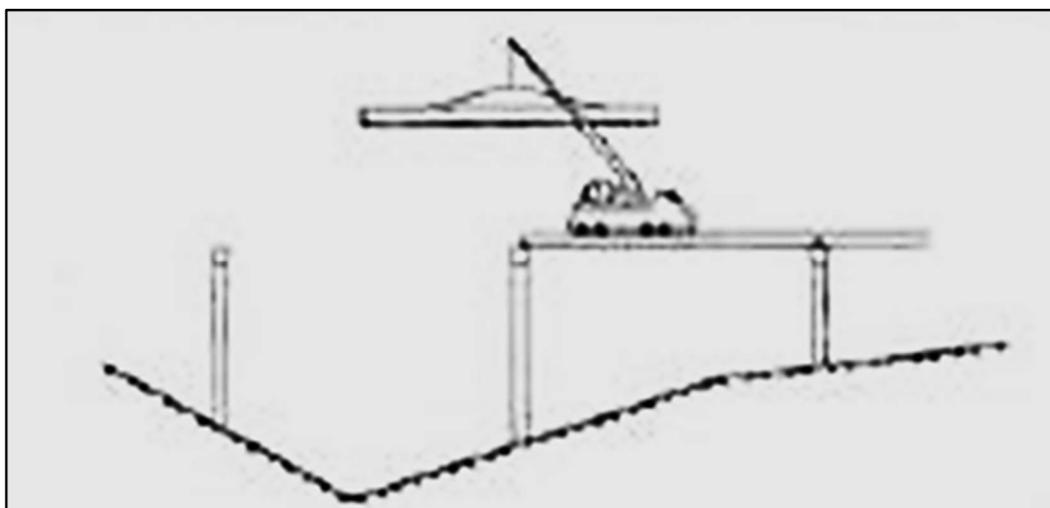


Figura 307. Construcción del vano mediante grúas apoyado en la estructura
Fuente: UT MOVIUS 2022

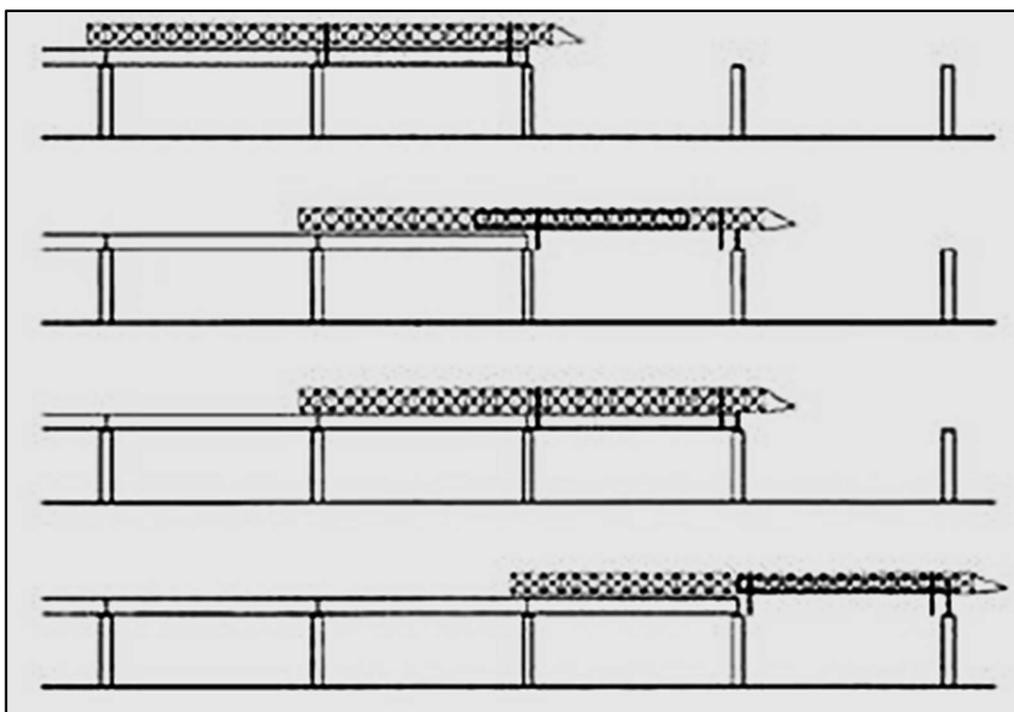


Figura 308. Construcción del vano mediante viga de lanzamiento
Fuente: UT MOVIUS 2022

- a) Avance de la viga lanzadora: 2 horas
- b) Izado de la viga: 2 horas
- c) Instalación de moldes de encofrado para vigas transversales: 4 horas
- d) Instalación de ferralla de reforzo: 8 horas
- e) Colado de las vigas transversales: 1 día
- f) Colocación las prelosas entre las vigas: 5 días (por línea central de viga)
- g) hormigonado in situ: 2 días
- h) Curado de las vigas transversales: 5 días

Así, el ciclo se considera 15 días **para el tablero de 2 vigas**

- Módulo continuo de tres vanos para luces de 93 m

Para salvar luces mayores de 60 m y hasta los 100 m, se adopta un módulo continuo de tres vanos con sección cajón postensado de canto variable, a la que se añaden en segunda fase barreras prefabricadas que intentan imitar las almas de la sección gran-U.

El método constructivo es el de construcción por voladizos sucesivos con carro de avance y dovelas coladas in situ, debido a la dificultad de transportar de elementos de tanto peso y dimensiones tan grandes.

De esta manera se independiza casi en su totalidad (excepto para las dovelas de pila y los vanos laterales), la construcción del tablero del suelo.

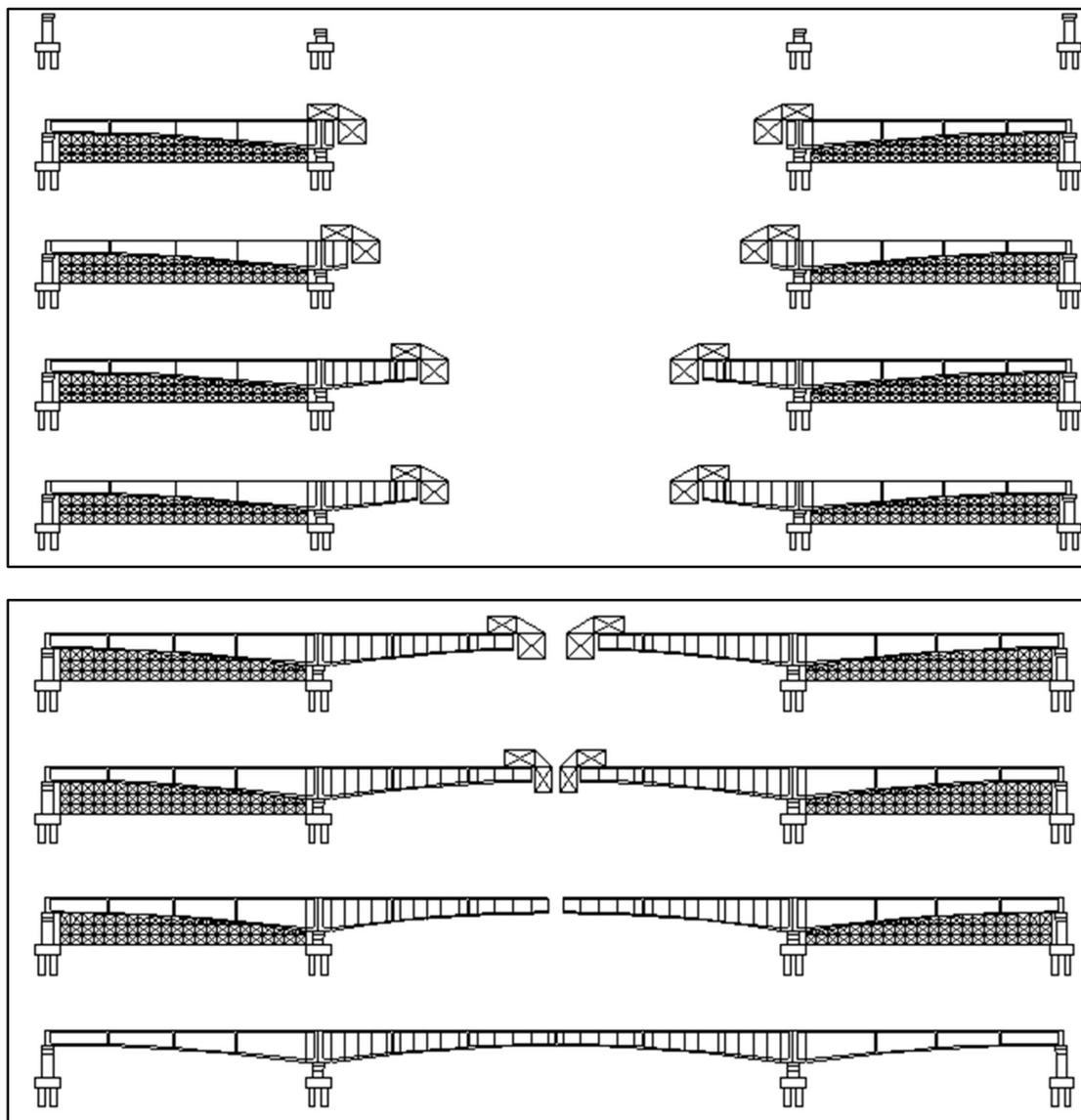


Figura 309. Secuencia constructiva tipo para puente por voladizos sucesivos mediante carro de avance
Fuente: UT MOVIOUS 2022

En el caso de dovelas coladas in situ el ritmo de montaje es más lento, y una pareja de dovelas tarda en ejecutarse 5 días. La duración de la obra de un viaducto de este tipo con un vano central de luz central de 93m, será de **8,5 meses**:

- a) Instalación de aparatos de apoyo temporales sobre las pilas: 0.5 días
- b) Cimbra y moldes para vanos laterales: 25 días
- c) Instalación de ferralla para vanos laterales y dovela de pila: 40 días
- d) Colado de vanos laterales y dovela de pila: 10 días
- e) Curado de vanos laterales y dovela de pila: 5 días
- f) Montaje de cimbra y moldes para ejecución de primera pareja de dovelas de voladizo: 2 días
- g) Instalación de ferralla para primera pareja de dovelas de voladizo: 2 días
- h) Colado de primera pareja de dovelas de voladizo: 1 día
- i) Curado de primeras parejas de dovelas de voladizo: 1 día
- j) Instalación y tesado de los cables de postensado de primeras parejas de dovelas de voladizo: 1 día
- k) Montaje de los carros de avance en los voladizos: 3 días
- l) Izado e instalación de las 10 parejas de dovelas restantes mediante carro de izado: 70 días

Tiempo total de construcción de la primera "T": **151 días**

3.2.14.5. Vías férreas

3.2.14.5.1. Vías férreas principales

De forma previa al inicio de los trabajos de construcción de la vía se deberán realizar todos los trabajos de topografía necesarios para poder realizar un correcto replanteo de los ejes de las vías. Se realizará un levantamiento tomando tres puntos por sección al menos en los apoyos de las vigas y en el centro de las mismas.

El replanteo de los ejes tendrá en cuenta el trazado teórico definido y la deformación de las vigas debida al peso propio y a las distintas cargas a considerar, tanto en la fase constructiva como en la fase de explotación.

Adicionalmente se deberá organizar la logística para suministrar, acopiar y distribuir todos los materiales necesarios (rieles, pórticos, sujeciones, piquetes de vía, anclajes, armaduras, encofrados, herramientas).

Para el montaje de las vías mediante el sistema *top&down* se usarán con una separación de 3,00 metros con su correspondiente tensor anclado. En alineaciones curvas piquetes de vía de radio reducido se colocarán dichos piquetes de vía cada 1,50 metros.

En el desarrollo de la construcción de la vía férrea se deberá proceder con seguridad acorde al manual previsto con este fin. En el caso de la distribución de los rieles durante la descarga estos no se dejarán caer y se tendrá

a un mínimo el arrastre de estos. Antes de soldar los rieles, se sujetarán de forma fija con tornillos de apriete todas las juntas por las que pueda pasar un tren de construcción. El espacio entre los rieles en estos casos no excederá de 10mm y la velocidad de los vehículos de construcción no deberá exceder de 10km/h.

Los vehículos de construcción no deberán pasar sobre juntas soldadas antes de haber finalizado el recorte y esmerilado y la temperatura de los rieles esté debajo de los 100 grados centígrados. La velocidad será restringida a 10 km/h hasta que el esmerilado haya sido realizado a las tolerancias finales especificadas y la soldadura haya sido probada, inspeccionada y aceptada por la inspección de EMB.

Se podrá, si lo prefiere, recortar los extremos de los rieles, antes de soldar. Los rieles se cortarán de forma limpia por medio de sierras especiales o discos abrasivos de recorte. No se permitirá el corte con soplete. Los cortes serán controlados empleando un dispositivo de guía o una plantilla hecha al propósito y estarán dentro de 0.75 mm del eje vertical del riel, medido a lo largo de toda la altura, o dentro de 0.50 mm del eje transversal, medido a lo largo de la anchura de cabeza del riel. La unión temporal de los extremos de los rieles se hará mediante bridas, dejando una cala de 25 mm (excepto en el caso mencionado anteriormente, cuando se prevea la circulación de vehículos de obra, que será de 10 mm).

Una vez comprobados los parámetros geométricos de la vía (alineación, nivelación, trocha, peralte e inclinación del riel) y el correcto montaje de las armaduras y de los encofrados, se procede al vaciado de los plintos. Los encofrados serán estancos y lo suficientemente rígidos como para impedir deformaciones, y se achaflanarán las aristas. Así mismo, se protegerá el riel y las sujeciones convenientemente para impedir que se manchen de hormigón .

Posteriormente se comprobará topográficamente la correcta geometría de las vías atendiendo a las tolerancias previstas. Para ello se realizará un metraje de la vía cada 5 metros mediante la ejecución de una marca indeleble en el carril.

En caso de que se superen las tolerancias establecidas se realizarán las oportunas correcciones, sin que en ningún caso se modifiquen dichas tolerancias. Si fuera necesario realizar correcciones que supongan una modificación de la configuración estándar del sistema de sujeción indicado en el documento de especificaciones técnicas que previamente se habrá entregado (debido a la eliminación de la placa de asiento, inserción de placas intermedias de distintos grosores o sustitución de piezas) EMB estudiará el alcance del problema, pudiendo incluso exigir la demolición y reconstrucción de aquellos tramos en los que las diferencias se lleven al límite de holgura de las sujeciones.

Todas las uniones embridadas se soldarán, excepto aquellas que deban ser utilizadas para la ejecución de la liberación de tensiones de las vías, que se ejecutarán al finalizar dicha actividad. Las soldaduras se situarán centradas entre dos sujeciones, y enfrentadas. Todas las soldaduras quedarán troqueladas, indicándose el número de la soldadura, la identificación del soldador y la fecha de ejecución. En el caso de que el método empleado sea la soldadura aluminotérmica, se emplearán kits de un solo uso. Se comprobará la geometría de la soldadura realizada mediante el uso de una regla electrónica homologada y calibrada capaz de generar para cada soldadura analizada un informe que represente numérica y gráficamente su geometría (alineación y nivelación) que indique la aptitud de la soldadura o la posibilidad, en su caso, de ser reparada. Se generará un acta para cada una de las soldaduras ejecutadas, donde al menos se incluya la siguiente información:

- Localización de la soldadura (vía, punto kilométrico e hilo).
- Identificación del soldador.
- Fecha y hora de ejecución.
- Identificación de la carga de soldadura utilizada.
- Tipo de cala empleada.

- Temperatura del riel.

Se entregará de forma previa al inicio de los trabajos la documentación que justifique convenientemente la aptitud del soldador. Dicha documentación podrá consistir en una homologación de una administración competente o una certificación del fabricante que suministre el material.

Para la realización de la liberación de tensiones en la vía se determinarán las longitudes de los tiros de liberación, en función del trazado y de la insolación recibida a lo largo del día, y se definirá la temperatura de neutralización en función de las temperaturas medias de los rieles a lo largo del año. El método a emplear será el de calentamiento solar. Se utilizará siempre que sea posible el método solar y se comprobará el apriete definitivo de las sujeciones al final del proceso. Se utilizarán mazas de caucho para golpear el alma de los rieles, y se empleará una moto clavadora para el apriete simultáneo de cada uno de los cuatro hilos, disponiendo además de una máquina de repuesto in situ. Se generará un acta de liberación de tensiones para cada uno de los tiros realizados, donde se indique explícitamente la dilatación de los cuatro hilos comprendida entre el aflojado de las sujeciones y maceado de los rieles, y el apriete de dichas sujeciones. Después del proceso de neutralización se comprobará el apriete definitivo de las sujeciones.

Finalmente se limpiarán los rieles y sujeciones, y se comprobará el correcto acabado superficial de los plintos.

Para el replanteo de las vías se utilizarán aparatos topográficos que permitan las precisiones mínimas especificadas en el proyecto. Estos equipos topográficos necesarios en función de las características técnicas de los mismos se pueden agrupar como sigue:

- **Equipo topográfico para replanteo de vías con base en carro de vías.**
 - Estación o estaciones totales remotas con precisiones de 1" o 0.5" para guiado de carro de vías.
 - Carro de vías para replanteo y control de parámetros de posicionamiento geométrico de carriles, ancho entre carriles, peralte, y nivelación de ambos carriles.
 - Regla de replanteo y control de inclinación de carril
- **Equipo topográfico para replanteo y control de vías con base a elementos clásicos de control:**
 - Estación total con precisión de 1" o 0.5".
 - Regla multifunción, con soporte para prisma, y control de peralte, ancho entre carriles y nivelación de carril.
 - Regla para replanteo y control de inclinación de carril.
 - Asas de flechar.
- **Equipo topográfico para replanteo y control de vías con base a elementos clásicos de control (segunda opción):**
 - Estación total con precisión de 1" o 0.5"
 - Zapata de vías con soporte para mini prisma, para control de posicionamiento y nivel de carril colocado.
 - Regla para replanteo y control de trocha de vía y peralte.
 - Regla para replanteo y control de inclinación de carril.
 - Asas de flechar.

Cualquiera de las combinaciones expuestas puede ser utilizada para el montaje de vías, debiendo exponer tanto los medios como las metodologías a utilizar, previamente a aprobación por parte de EMB.

3.2.14.5.2. Vías férreas del patio-taller

La tipología de las vías de la zona de patio-taller varía según la función y los equipamientos implantados en ellas.

De forma previa al posicionamiento de los durmientes se compactará el lecho de balasto y se ejecutará un pequeño surco central (sin cordones laterales). Se ejecutará un piqueteado de vías como red de apoyo topográfico para el control del posicionado de las traviesas (en un primer momento) y el control de la geometría de las vías (posteriormente). El hombro de balasto será de al menos 80 cm. Las soldaduras se ejecutarán una vez embalastadas y bateadas las vías. Se cuidará que el balasto no sobrepase la arista superior de los durmientes y que quede al menos cuatro centímetros por debajo de la superficie inferior del riel.

3.2.15. Listado de maquinaria a utilizar por el proyecto

Tabla 82. Listado de maquinaria a utilizar por el proyecto

EQUIPO	Cantidad media	TRAMOS			
		TÚNEL	VIADUCTO / PATIO-TALLER	ESTACIONES	POZOS
Retroexcavadora CAT 330 o similar	10	1	3	4	2
Minicargador CAT 242B2 o similar	8	2	2	3	1
Retroexcavadora menor - CAT 215 o similar	8		2	4	1
Bulldozer capacidad 8 t - CAT D4K XL o similar	5		4	1	
Carrotanque 5000 litros	4		1	2	1
Compactador manual Capacidad 0,5 t - CAT CB14	10		3	7	
Compactador neumatico - Potencia 100 HP - CAT PF300C o similar	5		2	3	
Compactador Rodillo Capacidad 4 t - CAT CB13 o similar	8		3	4	
Motoniveladora CAT 160H o similar	2			2	
Volqueta doble troque - Potencia 360 hp - Capacidad 15 m3	29	12	4	11	2
Volqueta capacidad 6 M3	12		4	6	2
Mixer concreto capacidad 8 m3	25		8	15	2
Finisher potencia 14 hp - CAT AP600D o similar	4		1	3	
Equipo de perforación	14	2	3	6	1
Camionetas 4x4 2000 cc o similar	28	3	11	11	3
Camion estacas capacidad min 5 t - Foton FPR CUMMINS o similar	15	2	4	8	1

EQUIPO	Cantidad media	TRAMOS			
		TÚNEL	VIADUCTO / PATIO-TALLER	ESTACIONES	POZOS
Compactador tipo canguro - MEGAPAC MR68H o similar	11		3	8	
Viga lanzadora - Luz de trabajo 40 m	1		1		
Posicionadora de carriles - Plasser & Theurer PA 1-20 ES o similar	2		2		
Fijadora de riel	2		2		
Robot de soldadura - Plasser & Theurer APT 1500 RL o similar	2		2		
Piloteadora Liebherr LB 25 o similar	6		6		
Grúa telescópica capacidad 50t - Liebherr LTM 1050-3.1 o similar	6	1	1	3	1
Grúas fijas capacidad min. 4 t - Liebherr 42 K.1 o similar	12	2	2	7	1
Vibrador de concreto Potencia min 3 hp - Bosch GVC 22 EX o similar	25	3	6	13	3
Equipo soldadura capacidad 600 AMP	15	2	4	8	1
Grúa con almeja capacidad min 100 t - Liebherr HS8100.1. o similar	2			2	
Grúa con almeja Capacidad 50 -70 t - Liebherr HS 8070.1 o similar	4			1	1
Tuneladora y equipos asociados Diámetro 10,5 m	1	1			
Planta de dovelas	1	1			

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.16. Localización de las estaciones, patios y talleres

Véanse numerales [1.1 LOCALIZACIÓN](#) y [1.2.3.1 Trazado y características geométricas del proyecto](#).

3.2.17. Movimientos de tierras

3.2.17.1. Volúmenes de material de excavación

Véase numeral [1.2.3.3 Diagrama de masas \(material de relleno y excavación\)](#).

3.2.17.2. Volúmenes para terraplenes

Véase numeral [1.2.3.3 Diagrama de masas \(material de relleno y excavación\)](#).

3.2.17.3. Áreas de relleno y de préstamo

El área de relleno destinada para el patio-taller incluye exclusivamente el terreno sobre el cual se realizará la conformación de la terraza. Dicho sector, ubicado en el predio de Fontanar del Río, contará con un área aproximada de 207.969 m. En el numeral [1.2.3.3](#) se incluye la relación de las excavaciones y rellenos previstos en el área de trabajo.

3.2.17.4. Balance de masas

Véase numeral [1.2.3.3 Diagrama de masas \(material de relleno y excavación\)](#)

3.2.17.5. Volúmenes de suelo orgánico requerido a remover

Véase numeral [1.2.3.4 Área estimada de remoción de la vegetación y descapote](#)

3.2.18. Estimativo de mano de obra durante la construcción y operación

❖ Construcción

Para la construcción del proyecto el pico de personal estimado (mayor número de personas por contratar en un momento determinado) es el siguiente:

- Personal calificado: 590
- Personal no calificado: 1.100

❖ Operación

Las actividades de operación y mantenimiento del proyecto requiere que la empresa encargada contrate a una plantilla para el desempeño de estas actividades. Estas actividades abarcan los siguientes campos, entre otros: administración, IT, recursos humanos, ventas y finanzas, marketing & comunicación, departamento jurídico, departamento de ingeniería, departamento de mantenimiento, departamento de operación, personal en línea y en las estaciones, personal del CCO, personal del patio-taller, agentes de seguridad, limpieza, calidad y auditoría.

Se estima que se requerirá un volumen de 651 profesionales para el desarrollo de las mismas.

3.2.19. Requerimiento de demolición de viviendas u obras de infraestructura

El proyecto requiere la demolición de 756 viviendas (véase numeral [1.2.2.1.8 Estudios prediales](#)), distribuidas como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 83. Cantidad de viviendas que requieren demolición

Obra en superficie	Viviendas por demoler
Estación 01	56
Estación 01 / Accesos	20
Pozos y salidas de emergencia 01	5
Estación 02	72
Estación 02 / Accesos	1
Pozos y salidas de emergencia 02	6
Pozos y salidas de emergencia 03	3
Estación 03	0
Estación 03 / Accesos	70
Pozos y salidas de emergencia 04	5
Estación 04	70
Estación 04 / Accesos	17
Pozos y Salidas de emergencia 05	12
Estación 05	55
Estación 05 / Accesos	4
Pozos y salidas de emergencia 06	8
Estación 06	175
Estación 06 / Accesos	0
Pozos y salidas de emergencia 07	3
Estación 07	48
Estación 07 / Accesos	11
Pozos y salidas de emergencia 08	1
Estación 08	52
Estación 08 / Accesos	30
Pozos y salidas de emergencia 09	9
Estación 09	7
Pozos y salidas de emergencia 10	0
Estación 10	0
Pozos y salidas de emergencia 11	0
Estación 11	0

Obra en superficie	Viviendas por demoler
Patio-Taller	16
TOTAL	756

Fuente: UT MOVIOUS 2022

3.2.20. Tipo y volúmenes de materiales requeridos en la construcción

3.2.20.1. Equipos y maquinaria a utilizar en el proceso constructivo

Véase numeral [1.2.16 Listado de maquinaria a utilizar por el proyecto](#)

3.2.20.2. Estructuras de control

De manera general, para el funcionamiento del sistema de transporte masivo L2MB se dispone de infraestructura como estaciones, accesos, galerías de acceso, pozos de evacuación, ventilación y drenaje, patio- taller, sección túnel y sección viaducto que está expuestos a los siguientes tipos de inundación:

- Inundación por desbordamiento o rotura de jarillón: Corresponden a inundaciones generadas por una creciente progresiva y de larga duración que produce el desbordamiento de cauces o ruptura de elementos de control, contención y conducción dispuestos en orilla (ej. jarillones); este tipo eventos anega áreas generalmente planas e infraestructura contigua al cuerpo de agua.
- Inundación por encharcamiento: Corresponden a inundaciones generadas por deficiencias de funcionamiento de la infraestructura de drenaje que se encarga de captar, conducir y evacuar las aguas de escorrentía.

Dada la localización del sistema de transporte masivo (Bogotá D.C), las áreas susceptibles de inundación y los elementos para la protección de la infraestructura de la L2MB ante este tipo de eventos están regulados por los siguientes documentos:

- Decreto 555 de 2021: Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá- Mapa de Amenaza por Inundación para la ciudad.
- Normatividad del Sistema de Información de Normalización Técnica -SISTEC- de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB. ESP.
- Resolución 0957 del 02 de abril de 2019: Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica – POMCA del Río Bogotá.

Tomando en consideración la normatividad aplicable y la identificación de tipos de inundación que se pueden dar a lo largo del trazado de la L2MB, para el presente proyecto se consideraron de manera general las siguientes tipologías de elementos de protección:

- **Elementos tipo barrera:** Este tipo de elementos se generan para constituir una barrera física que impida el ingreso del agua de escorrentía a la infraestructura del sistema L2MB. Para el proyecto L2MB se consideró terraplenes y barreras de contención y/o protección.
- **Elementos de captación y evacuación de aguas:** Los elementos de captación y evacuación de aguas cumplen una función complementaria que busca captar el agua que ingrese al sistema (proveniente de lluvias, escenarios de rotura de tuberías de abastecimiento, activación de sistemas contra incendio, etc), conducirla a los puntos bajos y evacuarlas llevándolas a la red de alcantarillado urbana gestionada por la EAAB.

Dentro de estos elementos se encuentra infraestructura tal como tuberías, sumideros y rejillas de captación de aguas, cunetas de recolección de aguas, tanques de almacenamiento y sistemas de bombeo

Los elementos de protección anteriormente listados están dispuestos en la infraestructura del sistema L2MB tal como se muestra a continuación:

Tabla 84. Análisis de condiciones y elementos de protección para eventos de inundación

Infraestructura L2MB	Tipo de evento de inundación	Tipo de elemento de protección	Descripción elemento
Estaciones - Accesos - Galerías	Inundación por encharcamiento	Barrera	Barrera de contención configurada por escalones que permiten el acceso de los usuarios e impiden el ingreso del agua al sistema
		Captación y evacuación	Galerías: Rejillas de captación y tuberías de conducción Estaciones: cunetas de recolección de aguas, cajas recolectoras, tanques de almacenamiento, sistemas de bombeo
Pozos de evacuación ventilación y drenaje (Túnel)	Inundación por encharcamiento	Barrera	Barrera de contención configurada por escalones que permiten la salida de los usuarios del sistema (en caso de evacuación) e ingreso de personal de mantenimiento e impiden el ingreso del agua proveniente de escorrentía a la sección túnel.
		Captación y evacuación	Tomando en consideración que los pozos de evacuación, ventilación y drenaje corresponden a puntos bajos de la sección túnel de la L2MB, en estos puntos en particular se dispone de elementos como cunetas de recolección de aguas, cajas recolectoras, tanques de almacenamiento y sistemas de bombeo.

Zona de transición	Inundación por desbordamiento o rotura de Jarillón	Barrera	Proyección de muro de cierre (barrera de contención que impide el ingreso del agua a la sección tipo túnel) en la zona de transición túnel-viaducto.
Patio-Taller	Inundación por desbordamiento o rotura de jarillón	Barrera	Proyección de zona elevada (terraplén) para la construcción del patio-taller de la L2MB

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.21. Programa de desvíos de tránsito vehicular y peatonal con rutas y horarios definidos

Los planes de manejo propuestos, se presentan en el numeral [1.2.12.4. Plan de Manejo de Tráfico](#)

3.2.22. Manejo de volúmenes de material de construcción

3.2.22.1. Materiales de construcción

Tabla 85. Materiales de construcción

Descripción	Unidad	Cantidad
Concreto	m ³	1.314.487
Excavación subterránea	m ³	1.259.577
Excavación	m ³	2.952.016
Rellenos	m ³	2.235.867
Demolición	m ³	79.327
Mezcla asfáltica	m ³	40.000
Caucho reciclado poroso	m ³	2.571

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.22.2. Balance de masas de los materiales de excavación y relleno

Véanse numerales [1.2.3.3. Diagrama de masas \(material de relleno y excavación\)](#) y [1.2.3.4. Área estimada de remoción de la vegetación y descapote](#)

3.2.22.3. Cantidad de material a reutilizar en el proyecto

El porcentaje de RCD por reutilizar será del 30%, teniendo en cuenta lo estipulado en el artículo 19 de la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, lo que corresponde a 2.876.639 m³, dato basado en el volumen total del material por utilizarse en obra, el cual será susceptible de aprovechamiento. Aquellos RCD que no sean susceptibles de aprovechamiento en la obra serán dispuestos en los sitios autorizados por la autoridad ambiental.

Adicionalmente, para dar cumplimiento a los lineamientos técnico ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición el constructor debe:

- Informar por escrito a la Secretaría Distrital de Ambiente la fecha de inicio de actividades, su ubicación, su naturaleza, el tiempo estimado de duración, el estimativo de la cantidad y tipo de residuos que se manejarán, así como la finalización de toda actividad cuando esto finalmente ocurra.
- Registrarse ante esta Secretaría por una sola vez en la página web y obtener el respectivo PIN.
- Tener en el sitio de obra o acopio un inventario actualizado permanentemente de la cantidad y tipo de RCD generados y/o poseídos.
- Generar un inventario de los residuos peligrosos provenientes de actividades de demolición, reparación o reforma, proceder a su retiro selectivo y entregar a gestores autorizados de residuos peligrosos.
- Asumir los costos en que se incurra por la recolección y transporte de los RCD hasta sitios de acopio, transferencia, tratamiento y/o aprovechamiento o disposición final.
- Trabajar únicamente con transportadores inscritos en la página web de la SDA y que hayan obtenido su respectivo PIN.
- Separar los RCD de acuerdo con los parámetros y características técnicas definidas en el Plan de Gestión de RCD en obra.

3.2.23. Manejo y disposición de materiales sobrantes de excavación y de construcción y demolición

3.2.23.1. Relación de los volúmenes estimados de material a disponer

Véanse numerales [1.2.3.3. Diagrama de masas \(material de relleno y excavación\)](#) y [1.2.3.4. Área estimada de remoción de la vegetación y descapote](#)

3.2.23.2. Localización de los sitios potenciales para la ubicación de sitios de disposición final de material sobrante o residuos de construcción y demolición (RCD) del proyecto

A continuación se presentan los sitios autorizados por la Secretaria Distrital de Ambiente para la disposición y tratamiento de RCD, que pueden ser utilizados en el proyecto.

Tabla 86. Sitios Autorizados para la Disposición Final de RCD

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
PMRRA Central de Mezclas S.A.	BOGOTÁ	Resolución SDA No. 01280 de 2017 Radicado SDA: 2017EE111539	SDA	En los predios del Registro Minero de Cantera No. 056 de Central de Mezclas S.A. no se desarrollan actividades de extracción, beneficio y transformación de materiales de construcción, no obstante se ejecutaron actividades de disposición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), dando cumplimiento al Artículo 2 de la Resolución 4626 del 3 de junio de 2010.
RAFEL ROMERO	Mosquera	Resolución 3976 del 14/12/2016 Rad SDA. No. 2021ER263299	CAR	Suelo orgánico, material de excavación
JAIME WILLIS	Mosquera	Resolución 2895 de 29/09/2017 Rad SDA. No. 2021ER263299	CAR	Suelo orgánico, material de excavación
TRANSPORTES LAMD	Mosquera	Resolución 0726 del 18 de marzo de 2019 Rad SDA No. 2020ER06883	CAR	Suelo orgánico, material de excavación
PREDIO LA ESPERANZA	Ciudad Bolívar	Registro 005	CAR	Materiales de excavación, tierras negras y/excavaciones orgánicas, Materiales pétreos, materiales de demolición y materiales de descapote
LAS MANAS -	BOGOTÁ	RESOLUCIÓN	ANLA	Disposición final de RCD,

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
Máquinas Amarillas -		1480 DE 2014 RESOLUCIÓN 228 DE 2016		ESCOMBROS, EXCAVACIÓN, Y MATERIALES ESTÉRILES
SAN ANTONIO- REX INGENIERIA	BOGOTÁ	RESOLUCIÓN 836 DE JULIO DE 2015 RADICADO SDA: 2016ER198164	ANLA	Disposición final de RCD, ESCOMBROS, EXCAVACIÓN, Y MATERIALES ESTÉRILES
CEMEX - LA FISCALA	BOGOTÁ	RESOLUCIÓN 1506 DE 28 DE JULIO DE 2006	ANLA	Disposición final de RCD, ESCOMBROS, EXCAVACIÓN, Y MATERIALES ESTÉRILES
CEMEX - TUNJUELO	BOGOTÁ	RESOLUCIÓN 1480 Del 04 de diciembre de 2014	ANLA	Disposición final de RCD, ESCOMBROS, EXCAVACIÓN, Y MATERIALES ESTÉRILES
EL VÍNCULO	SOACHA. LOTE 2,3 Y 4	Resolución de aprobación Resolución 803 del 10 de Agosto de 2012 Resolución de PRÓRROGA Resolución 1009 de 2014 RADICADO SDA: 2014ER141586, 2015ER88647	ALCALDÍA MUNICIPAL DE SOACHA	Restauración morfológica y construcción banco de suelo Vereda Panamá lotes 2, 3, 4, km 2,0 Municipio de Soacha
SOCIEDAD UNICONIC S.A.	Municipios de Subachoque y Madrid	Resolución No. 1299 del 21 de agosto de 1997, declaró ambientalmente viable y aprobar el Plan de Manejo Ambiental presentado por la	CAR	Autorizado para recibir: productos de excavación de vías, construcciones y obras civiles, productos de demoliciones que no contengan materiales como hierro, tubos, plásticos, entre otros, ni material orgánico producto de descapote

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
		sociedad UNICONIC S.A., que establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, corregir y compensar los posibles efectos o impactos negativos causados en desarrollo del proyecto de minería localizado en la jurisdicción de los municipios de Subachoque y Madrid y cuyo trámite se adelanta en el Ministerio de Minas bajo la Licencia No. 17694. Radicado SDA No. 2020ER151996 y 2021ER166380		No se admite ningún tipo de material que contenga residuos orgánicos, basuras, plásticos, llantas, materiales metálicos, lodos o residuos de procesos industriales
C&D GREEN INVESTMENT SAS	BOGOTÁ	RADICADO SDA: 2018EE272676	SDA	Transformación de residuos de instalación de Drywall (placa-yeso).
MAQUINAS AMARILLAS SAS	BOGOTÁ	RADICADO SDA: 2019EE100840	SDA	Aprovechamiento y Tratamiento de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD).
AMCON COLOMBIA S.A.S.	BOGOTÁ	Informe Técnico 789 de 2020 Rad. 2020IE81051 Radicado SDA 2020EE84482	SDA	Tratamiento y aprovechamiento de residuos de origen pétreo (concreto, arcilla, asfalto, piedra, sobrante de

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
				mortero), de manera in situ, para transformarlos en concreto, mortero, relleno, drenante, bases y sub-bases.
Ecoplanet Soluciones AR SAS	BOGOTÁ	RADICADO SDA No. 2019EE301364 - 2020IE46738	SDA	Acopio y transformación de drywall.
GRANULADOS RECICLADOS DE COLOMBIA - GRECO S.A.S.	BOGOTÁ	RADICADO SDA No. 2020IE223591	SDA	Residuos de construcción y demolición pétreos, arenas, gravas, gravillas, rocas de excavación, mampostería estructural, no estructural, cerámicas, sobrantes de mezclas de cementos, concretos y mezclas asfálticas
SECAM JR	BOGOTÁ	RADICADO SDA No. 2021ER188722 RADICADO CAR: 20212076865 Registro 001	CAR	RCD APROVECHABLES
CICLOMAT	COTA	RADICADO SDA: 2018ER186266 - RADICADO CAR 09181103501 Registro 004	CAR	RCD APROVECHABLES
CICLOMAT - CODEOBRAS	COTA	RADICADO SDA: 2018ER186266 - RADICADO CAR 09181103501 Registro 005	CAR	RCD APROVECHABLES
RECICLADOS INDUSTRIALES	COTA	RADICADO SDA: 2017ER166535 - Registro 015	CAR	RCD APROVECHABLES

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
SECAM JR EU	SOACHA	RADICADO SDA No. 2021ER188722 RADICADO CAR: 20202175533 Registro 030	CAR	RCD APROVECHABLES
MAAT SOLUCIONES AMBIENTALES	COTA	Registro CAR 002 Radicado SDA No. 2019EE160738	CAR	Materiales potencialmente aprovechables
RECOLECTORA EL TRIUNFO S.A.S.	BOGOTÁ	RADICADO SDA - 2018ER50154 - 2018EE78872 y proceso 5017986	SDA	La empresa Recolectora El Triunfo S.A.S. realiza dentro de sus actividades económicas la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, madera, metales y otros (PVC, drywall y cable eléctrico)
CHATARRERIA AMBIENTAL FM S.A.S.	BOGOTÁ	RADICADO SDA - 2018EE266302-	SDA	La empresa Chatarrería Ambiental FM S.A.S., realiza dentro de sus actividades económicas la recolección, transporte, almacenamiento y comercialización de residuos aprovechables incluyendo chatarra, aluminio y otros metales, cartón, PVC, madera y drywall.
METALES & VARILLAS A.M S.A.S.	BOGOTÁ	RADICADO SDA 2019EE20080	SDA	La empresa Metales y Varillas realiza dentro de sus actividades económicas la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
				papel, cartón, plástico, madera, metales y otros (PVC, drywall e icopor)
RECICLAJES MARTHA SAS	BOGOTÁ	RADICADO SDA 2019EE56883	SDA	Aprobado como recuperador específico de RCD aprovechables como papel, cartón, plástico, madera y otros (drywall e icopor)
RECUPERADOR A AMBIENTAL LAS VEGAS	BOGOTÁ	Radicación: 2019EE82550	SDA	Aprobado como recuperador específico de RCD aprovechables como papel, cartón, plástico, PVC, drywall, icopor, madera y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
EXIRECICLABLE S MC S.A.S.	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 01282 del 16 de agosto de 2019, del 16 agosto de 2019 mediante Rad. 2019IE187492 COE: 2019EE192359	SDA	Tipo de material autorizado para disponer: papel, cartón, plástico, PVC, drywall, poliestireno expandido (icopor), madera, vidrio y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
SOLUCIONES AMBIENTALES A&J S.A.S	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 01797, 28 de octubre del 2019 con Rad. 2019IE253080 Radicado de notificación: 2019EE276297	SDA	Recolección, almacenamiento y comercialización de residuos aprovechables como papel cartón, plástico, madera, vidrio y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño)
Papeles el Norte	BOGOTÁ	Informe Técnico: SDA No. 2019IE277977	SDA	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, madera,

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
				metales y otros (drywall)
Ecoplanet Soluciones AR SAS	BOGOTÁ	Informe Técnico de Aprobación 2020EI47033 Proceso 4691953	SDA	Recolección, acopio de materiales aprovechables como madera, plástico, metálicos y otros (icopor y drywall).
BIORECICLAJE CASALLAS & S.A.S.	BOGOTÁ	Informe Técnico de Aprobación: No. 0953 Radicado informe: 2020IE104666	SDA	Se permite la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, madera, metales y otros (PVC, drywall e icopor)
ECO Environment de Colombia S.A.S.	BOGOTÁ	Informe Técnico: SDA No.2020IE56195 COE: 2020EE56234	SDA	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, vidrio, madera y metales.
C&L SOLUCIONES EMPRESARIALES S.A.S.	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 00841 SDA No.2020IE85600 Rad de aprobación: 2020EE87632	SDA	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, madera, metales y otros (PVC y drywall)
GESTIONES AMBIENTALES CASTAÑEDA S.A.S.	BOGOTÁ	Rad. de aprobación: 2020EE240766 Informe técnico: No. 01682 (2020IE211001)	SDA	Material autorizado para recepcionar: papel, plástico, PVC, chatarra y drywall.
Chatarrería Ambiental La Esmeralda	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 02696 - 2019IE301932 Rad de aprobación: 2019EE303076	SDA	Recolección, acopio y comercialización de los residuos de metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño) potencialmente aprovechables

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
Soluciones Ambientales REMET	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 00215 - 2021IE23982 Proceso de aprobación: 5007832	SDA	Recolección, acopio y comercialización de los residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, madera y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño) y otros (PVC y drywall)
GLOBO METAL F.M S.A.S	BOGOTÁ	Informe de aprobación: 2021IE120141 Rad. de Aprobación: 2021EE135851	SDA	Tipo de residuos autorizados a recepcionar: como papel, cartón, plástico, PVC, drywall, icopor, madera y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño)
CAR Ingeniería S.A.S.	BOGOTÁ	Proceso Informe Técnico SDA No. 5154940 Radicado SDA: 2021IE153611	SDA	Papel, cartón, plástico, madera, metales y otros como drywall e icopor (poliestireno expandido)
Depósito San Vicente 1 S.A.S	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 03591 Radicado SDA No. 2021IE198062	SDA	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, PVC, drywall, icopor (poliestireno expandido), madera y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
GREEN WORLD J.E. SAS	BOGOTÁ	Informe Técnico No. 03846 Radicado SDA No. 2021IE204274	SDA	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como papel, cartón, plástico, PVC, drywall, madera y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc,

Nombre	Municipio	Resolución de aprobación	Entidad que autoriza	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
				estaño).

Fuente: SDA 2022

Los sitios anteriormente listados cuentan con los permisos correspondientes por parte de la SDA.

3.2.23.3. Estimación de los volúmenes de RCD (demoliciones y excavaciones)

Para los residuos de demolición y construcción (RCD) de acuerdo con la normatividad vigente el 30% de los RCD generados serán reutilizados por el proyecto en las adecuaciones de las vías (base y sub base) y el 70% restante serán llevados hasta los sitios autorizados para su disposición final. Adicionalmente se podrá emplear este material para la adecuación de senderos peatonales, accesos a viviendas o establecimientos, entre otros.

A continuación se presentan los volúmenes finales esperados sobre los cuales se debe cumplir con la normatividad vigente

Tabla 87. Volúmenes de RCD (demoliciones y excavaciones)

Descripción	Unidad	Cantidad
Excavación subterránea	m ³	1.259.577
Excavación	m ³	2.952.016
Rellenos	m ³	2.235.867
Demolición	m ³	79.327
Caucho reciclado poroso	m ³	2.571

Fuente: UT MOVIUS 2022

3.2.24. Residuos peligrosos y no peligrosos

3.2.24.1. Clasificación de los residuos sólidos

3.2.24.1.1. Residuos sólidos convencionales

Los residuos sólidos que se generarán por la construcción del proyecto incluyen residuos convencionales y peligrosos, provenientes de los diferentes frentes de obra. Los residuos convencionales se originan por las actividades humanas dentro de los frentes de obra y se componen principalmente por desechos orgánicos, vasos desechables y empaques de plástico o de icopor.

La descripción anterior se requiere tener en cuenta para la separación y clasificación de los residuos en la fuente, de igual manera aquella que se encuentra definida en la Norma Técnica Colombiana GTC 24 y/o en la Resolución 2184 de 2019.

Una vez identificado el tipo de residuo, estos deben ser seleccionados y almacenados en recipientes o contenedores que faciliten el transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición. Los contenedores que se empleen deben ser diferenciales, ya sea por color, identificación o localización. La disposición de los residuos domésticos se hará de acuerdo con los lineamientos definidos por las empresas prestadoras del servicio, teniendo en cuenta las rutas y horarios de recolección de las mismas.

Tabla 88. Clasificación de los Residuos.

Sector	Tipo de residuo	Color
Doméstico	Aprovechables	Blanco
Doméstico	No aprovechables	Negro
	Orgánicos biodegradables	Verde
Industrial, comercial institucional y de servicios	Cartón y papel	Gris
	Plásticos	Azul
	Vidrio	Blanco
	Orgánicos	Crema
	Residuos metálicos	Café oscuro
	Madera	Naranja
	Ordinarios	Verde

Nota 1: Se recomienda que cada generador establezca un código de colores particular para aquellos residuos no incluidos en la tabla.

Nota 2: Se recomienda consultar la legislación local vigente para verificar si existe algún código de colores establecido por la autoridad competente.

Nota 3: Para residuos peligrosos se establecerá el código de colores e iconos en la guía para residuos peligrosos.

Nota 4: Los colores establecidos en la tabla obedecen a la normatividad aplicable.



Fuente: U.T MOVIUS, 2022.

Gestión integral de residuos

Gestión integral de residuos sólidos domésticos durante la construcción del proyecto

Para lograr una gestión integral de los residuos sólidos del proyecto, se prevén medidas relacionadas con la generación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de estos residuos. A continuación se describe la gestión requerida.

- **Separación en la fuente y almacenamiento**

La separación en la fuente es la base fundamental de una adecuada gestión de residuos y consiste en la clasificación selectiva inicial de los residuos procedentes de cada una de las fuentes determinadas (campamentos, oficinas, talleres, frentes de obra, etc.), dándose inicio a una cadena de actividades y procesos cuya eficacia depende de la adecuada clasificación de los residuos.

Para realizar la separación en la fuente, en primera instancia se impartirán capacitaciones al personal vinculado al proyecto sobre el manejo y clasificación de los residuos sólidos y el uso de los diferentes recipientes para su almacenamiento inicial.

Los recipientes deben ser de un material resistente que no se deteriore con facilidad y cuyo diseño y capacidad optimicen el proceso de almacenamiento. Los recipientes se ubicarán en los campamentos y frentes de obra en puntos estratégicos, visibles, perfectamente identificados y marcados, del color correspondiente a la clase de residuos que se va a depositar en ellos, de acuerdo con los colores que exige la Guía Técnica Colombiana GTC-024 del ICONTEC. Los recipientes estarán protegidos de la lluvia y contendrán bolsas resistentes para facilitar su transporte. Durante la construcción de las obras se hará seguimiento a la generación de residuos para ajustar la ubicación de los recipientes de ser necesario.

Para las necesidades del proyecto, se emplearán recipientes como canecas plásticas o similares, como mínimo de 40 L de capacidad, que cumplan con las siguientes características:

- Livianos, de tamaño que permita almacenamiento entre recolecciones. Es recomendable que tengan forma de tronco cilíndrico, resistentes a los golpes, sin aristas internas, provistos de asas que faciliten el manejo durante la recolección.
- Construidos en material rígido impermeable, de fácil limpieza y resistentes a la corrosión, como el plástico.
- Dotados de tapa con buen ajuste, bordes redondeados y boca ancha para facilitar su vaciado.
- Construidos en forma tal que estando cerrados o tapados, no permitan la entrada de agua, insectos o roedores, ni el escape de líquidos por sus paredes o por el fondo.
- Los recipientes deben ir rotulados con el nombre del departamento, área o servicio al que pertenecen, el residuo que contienen y los símbolos internacionales.
- Los recipientes deben ser lavados con una frecuencia igual a la de recolección, desinfección y secado, permitiendo su uso en condiciones sanitarias adecuadas.
- Para el adecuado manejo, vaciado y posterior transporte de los residuos las canecas deben poseer en su interior bolsas plásticas que no deben reutilizarse; así mismo, es importante considerar que:

- La resistencia de las bolsas debe soportar la tensión ejercida por los residuos contenidos y por su manipulación.
- El peso individual de la bolsa con los residuos no debe exceder los 8 kg.
- La resistencia de cada una de las bolsas no debe ser inferior a 20 kg.
- Los colores de bolsas seguirán el código establecido para la clasificación de los residuos; serán de alta densidad y calibre mínimo de 1,4 milésimas de pulgada para bolsas pequeñas y de 1,6 milésimas de pulgada para bolsas grandes, suficiente para evitar el derrame durante su manipulación.

El almacenamiento de los residuos se hará en un punto de acopio temporal adecuado para este fin en el área de los campamentos, para facilitar la recolección de los mismos, donde se minimizará la generación de malos olores y el ingreso de vectores y tendrá fácil maniobrabilidad para el vehículo recolector (volqueta de 3 m³) y para los operarios. Este acopio, debe ser un lugar ventilado, cubierto de la lluvia, de fácil lavado (paredes y piso) y con desagües.

El cuarto de almacenamiento temporal del campamento tendrá el área necesaria para acopiar el volumen máximo generado en cinco días, teniendo en cuenta que esta es la frecuencia de recolección estipulada para evacuar los residuos al sitio de disposición final; en este cuarto se colocarán contenedores de polietileno de alta densidad de mayor capacidad (hasta 1600 l) para disponer los residuos retirados diariamente de las canecas localizadas en las distintas zonas del Proyecto.

Dada la versatilidad y durabilidad de este tipo de contenedores, se facilitan las maniobras de su descarga ya que son fácilmente transportables en montacargas.

- **Frecuencia de recolección**

La recolección de los residuos sólidos para disposición en relleno sanitario se realizará tres (3) veces por semana. La recolección interna para disposición temporal en centros de acopio, se realizará de forma diaria para mantener en plena capacidad los recipientes ubicados en cada uno de los campamentos. Con esta misma frecuencia, el constructor recogerá los residuos generados en los diferentes frentes de obra.

- **Recolección y transporte de residuos sólidos**

Los residuos sólidos serán recolectados por el constructor, el cual estará encargado de realizar el recorrido por cada una de las instalaciones de los campamentos donde se ubiquen recipientes para su manejo. Estos residuos serán conducidos a los centros de acopio centrales de cada campamento.

Los residuos generados en los frentes de obra, que se constituyen principalmente como residuos reciclables, igualmente serán transportados por el constructor hasta los centros de acopio temporal.

3.2.24.1.2. Residuos sólidos peligrosos.

Se estimaron las cantidades de residuos peligrosos que se generarán durante la construcción y operación del proyecto, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Mantenimiento mayor y menor de equipos
- Actividades y producción de servicios
- Automatismo de trenes
- Mantenimiento de equipos y sistemas
- Actividades de electromecánica

Los residuos peligrosos son aquellos que poseen características tóxicas, corrosivas, reactivas, inflamables, explosivas o infecciosas, que pueden ser una fuente de riesgo para el medio ambiente y la salud.

En la actividad de fabricación de dovelas se estima que la fabricación de una (1) dovela produce 1,25 kg de residuos peligrosos conformados por envases de pintura y estopas presentado de la siguiente manera.

$$10.000 \text{ dovelas} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{dovela}} = 12.500 \text{ kg} = 12,5 \text{ ton}$$

Para el caso de los residuos peligrosos una vez generados, separados en la fuente y almacenados de manera temporal, el sistema de disposición deberá ser coordinado con un gestor autorizado que disponga de las instalaciones necesarias para el almacenamiento, posible reutilización o aprovechamiento, recuperación, tratamiento y/o disposición final de los residuos y que cumpla a cabalidad con permisos, autorizaciones o demás instrumentos de manejo y control ambiental a que haya lugar de conformidad con la normatividad ambiental vigente.

La normativa colombiana define los residuos peligrosos como *“Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos”* Capítulo I, Decreto 4741 de 2005.

Los residuos generados en la construcción del metro, clasificados como residuos sólidos peligrosos serán entregados a un gestor externo autorizado que cumpla con la licencia ambiental pertinente.

La identificación de los residuos peligrosos generados dentro de las actividades de mantenimiento del sistema de trenes son:

- Aceite usado
- Envases de aerosol
- Envases de desengrasante
- Grasa usada
- Pilas
- Envases de pintura
- Solvente usado
- Baterías
- Trapos contaminados
- Envases contaminados
- Filtros de aire usados

El presente PGIRS para el RESPEL plantea siete subprogramas a través de los cuales se pretende obtener beneficios ambientales, culturales y económicos. Son los siguientes:

1. Programa educativo: Sensibilización a la población con respecto al manejo sostenible de los residuos peligrosos (RESPEL) con miras al desarrollo sostenible.
2. Programas de minimización: Generar un cambio positivo en los hábitos de consumo, procurando la reducción y reutilización en los residuos generados.
3. Programas de separación: Generar el hábito de la separación en la fuente con respecto a las características físico-químicas de los residuos.
4. Programa de recolección y transporte: Optimización en la recolección y transporte de los residuos como resultado del programa de separación en la fuente.
5. Programa de recuperación y aprovechamiento: Incorporación de los residuos generados de nuevo a la cadena productiva como materia prima.

6. Programa de almacenamiento: Desarrollo de sitios de almacenamiento, técnica y ambientalmente adecuados.
7. Programa de indicadores: Control y periodicidad en la recolección de datos.

El constructor deberá elaborar un plan de Gestión Integral de Residuos sólidos Peligrosos con los siguientes componentes:

Componente 1. Prevención y minimización

A. Objetivos y metas

El objetivo es establecer los procedimientos técnicos y administrativos para el manejo interno y externo de los residuos peligrosos generados en la actividad constructiva del proyecto L2MB.

Tabla 89. Objetivos para el manejo interno y externo de residuos peligrosos (Prevención y minimización)

Objetivo	Actividad	Meta
Identificar las características de peligrosidad y clasificar los residuos peligrosos generados	-Recopilar las hojas de seguridad las cuales proporcionen la información de peligrosidad de los residuos -Realizar una matriz de compatibilidad	-Recopilar el 100% de las hojas de seguridad -Clasificar el 100% de los residuos de acuerdo a su compatibilidad
Apoyar los aspectos operativos que permitan asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente	Apoyar las contrataciones necesarias	Realizar las contrataciones requeridas
Capacitar al personal sobre el manejo de los RESPEL	Capacitar al personal encargado de los residuos peligrosos	Capacitar al personal que maneja residuos peligrosos

Fuente: UT MOVIOUS, 2022.

B. Identificación de fuentes

- Presentar los resultados del análisis de peligrosidad de los residuos generados
- Realizar los análisis con un laboratorio acreditado ante el IDEAM
- Anexar el certificado de acreditación del laboratorio
- Incorporar el procedimiento de muestreo de residuos sólidos.

C. Clasificación e identificación de características de peligrosidad

Características de peligrosidad de los residuos peligrosos

Establecer la caracterización de los residuos peligrosos identificados por el contratista. Los residuos deben estar identificados de la siguiente manera:

- Número del residuo: Número correlativo en orden.
- Código Metro: Corresponde al código asignado al residuo al interior de la EMB
- Nombre del residuo: denominación que se le da al residuo.

- Descripción del residuo: se describe el residuo, indicando de manera general cómo se genera.
- Número de UN: número asignado por Naciones Unidas a cada sustancia peligrosa.
- Característica de peligrosidad: corresponde a la característica de peligrosidad
- Clase de riesgo: Corresponde a la clasificación de riesgo
- Grupo de compatibilidad: grupo de naturaleza similar o compatible a la que pertenece el residuo
- Grupo de incompatibilidad: grupo de naturaleza incompatible, es decir grupo de residuos con el que no se puede mezclar el residuo

D. Cuantificación de la generación

Se requiere cuantificar los residuos peligrosos generados en las diferentes instalaciones de la construcción y operación de la L2MB.

E. Alternativas de prevención y minimización

Con el fin de minimizar los residuos generados e incorporar una práctica habitual se requiere coordinar investigaciones de factibilidad de nuevas reducciones y apoyar dichas iniciativas.

Componente 2. Manejo interno ambientalmente seguro

- A. Objetivos y metas
- B. Manejo interno de RESPEL
- C. Medidas de contingencia

Dentro de las principales situaciones de emergencia que se pueden presentar se tienen las siguientes:

- Derrames de sustancias líquidas
- Incendios de sustancias inflamables
- Fugas accidentales de gases
- Explosiones

Las emergencias que se puedan presentar, deben manejarse acorde con el Plan de Emergencias. Para llevar a cabo estas actividades se propone el siguiente personal del contratista.

- Jefe Emergencia: Responsable por la coordinación general del plan, programar y llevar a cabo simulacros, presidir y convocar a reuniones preventivas y/o análisis pos-situaciones de emergencia.
- Jefe Local de la Emergencia: Responsable por declarar los estados de alerta y definir los grupos de emergencia.
- Equipo de Alarma o de Alerta: Personal encargado de comunicar los estados de alerta, y comunicaciones para solicitud de apoyo externo.

D. Medidas para la entrega de residuos al transportador

Para llevar a cabo la recolección de los residuos la empresa externa debe tener en cuenta las consideraciones expresadas en la normatividad vigente.

Componente 3. Manejo externo ambientalmente seguro

- A. Objetivos y metas

El objetivo es establecer los procedimientos técnicos y administrativos para el manejo externo de los residuos peligrosos generados en la actividad constructiva del proyecto Metro.

Tabla 90. Objetivos para el manejo interno y externo de residuos peligrosos (Manejo externo ambientalmente seguro)

Objetivo	Actividad	Meta
Cumplir los requisitos legales exigidos en la disposición final y entrega de los residuos peligrosos	-Verificar las condiciones legales ambientales de las empresas de recolección -Solicitar las actas de entrega	-Cumplir con los requisitos legales de transporte y disposición final de los residuos -Contar con el 100% de las actas de entrega

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- B. Identificación y/o descripción de los procedimientos de manejo externo de los residuos fuera de la instalación generadora, tales como aprovechamiento y/o valorización, tratamiento, disposición final, exportación, transporte, etc.

Tal como lo establece el Decreto 4741 de 2005 en el artículo 17, previo a su disposición final la entidad deberá realizar verificación de estas condiciones para garantizar la protección ambiental.

Componente 4. Ejecución, seguimiento y evaluación del plan

- A. Personal responsable de la coordinación y operación del plan

El personal responsable de la coordinación y operación del plan será parte del contratista y la evaluación y control será a cargo de la interventoría.

- B. Capacitación

Tabla 91. Programa de capacitación

Programa de capacitación	
Conocimientos de prevención y minimización de RESPEL	Coordinación ambiental
Manejo seguro y responsable de RESPEL	Coordinación ambiental
Normatividad legal aplicable	Coordinación ambiental
Normas básicas de salud, higiene y seguridad industrial	Departamento de seguridad y salud en el trabajo

Fuente: UT MOVIUS, 2022.

- C. Seguimiento y evaluación

Para evaluar el desempeño se establece el siguiente indicador:

% Aumento o disminución de RESPEL

$$\frac{\text{Residuos generados}_{n+1} - \text{Residuos generados}_n}{\text{Residuos generados}_n} * 100$$

Dónde:

N = Periodo inicial

D. Cronograma de actividades

El cronograma depende de la periodicidad de las capacitaciones y el número de frentes de trabajo durante la ejecución de las actividades

Manejo y disposición de residuos peligrosos

De acuerdo con el decreto 4741 de 2005 compilado por el Decreto 1076 de 2015, los residuos peligrosos serán almacenados en cada frente de obra en recipientes de color rojo. Estos serán entregados a gestores que cuenten con la respectiva licencia ambiental para almacenamiento, transporte, transformación y tratamiento. En la siguiente tabla se detallan algunas de las empresas autorizadas con licencia ambiental otorgada por la Secretaría Distrital de Ambiente para el manejo de residuos peligrosos. La vigencia de sus licencias deberán ser validadas por el constructor antes de empezar sus actividades.

Tabla 92. Empresas autorizadas por la Secretaría Distrital de Ambiente para el manejo de RESPEL.

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
BOGOTANA DE MANGUERAS	Resolución No. 1326 del 07/06/ 2005. Modificación Resolución No. 3995 del 11/05/2010.	Aprovechamiento	Disposición final de aceite en el proceso de fabricación de cauchos.
CLICK ON GREEN	Resolución No. 1265 del 15/08/ 2013	Almacenamiento y aprovechamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE´S)	Almacenamiento y aprovechamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES), incluyendo equipos de telecomunicaciones en desuso, computadores y equipos periféricos. Impresoras, escáneres, faxes, servidores, copiadoras y proyectores.
DESCONT S.A. E.S.P	Resolución No. 4484 del 25/05/ 2010	Almacenamiento	Aceites lubricantes usados (A4060) y

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
			<p>baterías plomo-ácido usadas (Y31), lodos contaminados con emulsiones de agua e hidrocarburos (Y9), filtros de aceite usados (A4060), material absorbente y papel contaminado con solventes (Y6 – Y41), recipientes contaminados (Y13 – Y14), potes con pintura (Y12 – Y13), residuos líquidos químicos (Y34 – Y35), liquido revelador y fijador (Y16), papel y plástico contaminado con residuos peligrosos, medicamentos vencidos (Y3) y tubos fluorescentes (Y29)</p>
ECOCAPITAL S.A. E.S.P.	Resolución No. 2517 del 03/10/2005	Almacenamiento, incineración y desactivación con autoclave de calor húmedo	Residuos hospitalarios infecciosos (anatomopatológicos), de animales, cortopunzantes y biosanitarios clasificados según la NFPA como Tipo 4.
ECOENTORNO LTDA.	Resolución No.1125 del 06/09/2002 Resolución No. 438 del 17/03/2003	Almacenamiento, Incineración y transporte	Residuos industriales, hospitalarios o domésticos (sólidos, líquidos y pastosos). autorizados tipo 0,1,2,3,4,5 y 6 de la clasificación NFPA
ECOLCIN	Resolución No. 1316 del 07/06/2005 Resolución 2792 del 2006 Modificación Resolución 0011 del 06/01/2011	Transformación y procesamiento de aceites lubricantes usados. Recolección, transporte, acopio y tratamiento de borras.	Transformación y procesamiento de aceites lubricantes usados para disposición como combustible de uso industrial. Operación de la planta

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
			<p>de recolección, transporte, acopio y tratamiento de borras. Almacenamiento y envío a disposición final de baterías usadas plomo-ácido, residuos sólidos impregnados con hidrocarburos (estopas, trapos, material oleofílico, arena, aserrín, paños absorbentes) y transformación de filtros usados por drenado y retiro de material sólido como caucho y papel impregnado con aceite usado, de forma tal que el material sólido contaminado retirado se envíe a disposición final por incineración y la carcasa metálica del filtro libre de aceite se envíe a fundición.</p>
<p>ELINTE S.A.</p>	<p>Resolución No. 11 de 1999 Resolución No. 1492 del 14/07/2000</p>	<p>Almacenamiento e incineración</p>	<p>Residuos altamente combustibles y combustibles de origen doméstico y comercial, y aceites usados autorizados Tipo 0, 1, 2 y 3 de la clasificación NFPA.</p>
<p>ESAPETROL S.A.</p>	<p>Resolución No. 2890 del 29/12/2000 Resolución No. 0367 del 04/04/2006 Modificación Resolución No. 0461 del 2007</p>	<p>Recolección y transporte de aceites usados. Tratamiento de aguas industriales. Disposición final de residuos peligrosos</p>	<p>Autorizado para procesamiento de aceite lubricante usado para la producción de combustible ecológico denominado ACCEL. Tratamiento de aguas residuales Industriales, Aguas hidrocarbonadas, aguas de alta conductividad, aguas</p>

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
			<p>con alta DQO y DBQ, aguas residuales de procesos productivos de diferentes sectores e industrias que requieran del servicio ex situ. Lodos y borras hidrocarburadas, piezas impregnadas de hidrocarburos como filtros, empaques, canecas, piezas mecánicas, filtros de aceite, recipientes plásticos y metálicos de lubricantes, grasas e hidrocarburos. Material hidrocarburado incinerable como estopas guantes, trapos, material oleofílico, aserrín. Residuos líquidos peligrosos de hidrocarburos, incluyendo los diferentes hidrocarburos contaminados o residuales. Residuos de caucho y hule, principalmente llantas y mangueras. Residuos eléctricos como baterías y pilas, materiales que serán entregados para su disposición final a la empresa AIRE LTDA.</p>
INDUSTRIAS FIQ	Resolución No. 108 del 31/01/2007.	Almacenamiento y aprovechamiento de solventes usados	Operación de residuos o desechos peligrosos en el proyecto de almacenamiento y recuperación de solventes industriales a través del proceso de destilación.

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
INGENIERÍA Y RECICLAJE S.A.S.	Resolución 2847 del 16/12/2015 (Cesión de la Resoluciones No 2699 del 11/10/2005 y 3075 del 12/04/2010 de Domínguez Sánchez S.A.)	Recepción, almacenamiento, entrega, transformación y procesamiento de aceites usados	Recepción, almacenamiento, entrega, transformación y procesamiento de aceites usados
INGEOMINAS	Resolución No. 3326 del 01/11/2007 Resolución No. 010 del 15/01/2008	Almacenamiento temporal	Almacenamiento temporal de fuentes radiactivas en desuso. Sólo incluye el almacenamiento del inventario actual de las fuentes radiactivas existentes, es decir los residuos radiactivos que hayan ingresado al país antes de 1995, los cuales se dividen en dos grupos: a) Residuos radiactivos en poder de usuarios que hayan ingresado al país antes del año 1995 y b) Residuos radiactivos en operación en todo el país.
LASEA SOLUCIONES E.U.	Resolución No. 3010 del 28/12/2005 Modificación Resolución No. 933 de 2008	Recolección, transporte, almacenamiento y disposición final	Residuos plásticos y filtros para aceite principalmente provenientes de las actividades de lubricación automotriz. Desechos resultantes de la producción y reparación de productos farmacéuticos, Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua, o de hidrocarburos y agua, con excepción de lodos con componentes orgánicos. Desechos

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
			<p>resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices. Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos. Residuos eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones. Acumuladores, baterías níquel – cadmio y/o baterías secas, tubos fluorescentes y lámparas de mercurio</p>
LITO LTDA.	<p>Resolución No. 056 del 29/01/2004 Modificación Resolución No. 4179 del 27/12/ 2007</p>	<p>Aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos</p>	<p>Descarga, almacenamiento, muestreo, análisis de PCBs (en aceite dieléctrico y equipos eléctricos en desuso), marcación y recuperación de equipos contaminados, reembalaje, almacenamiento temporal (en el depósito de seguridad hasta la eliminación por parte del propietario del residuo), separación y deshuese de materiales libres de PCBs y aprovechamiento de material en bombillas de mercurio y sodio</p>
MAC JHONSON CONTROL'S DE COLOMBIA S.A.S.	<p>Resolución No. 1297 del 23/08/2013</p>	<p>Almacenamiento de baterías usadas plomo-ácido</p>	<p>Almacenamiento de baterías usadas plomo-ácido</p>

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
PROTELMA	Resolución No. 1127 del 25/08/2004 Modificación Resolución No. 0026 del 06/01/2005	Almacenamiento y tratamiento.	Procesamiento y transformación de aceites usados.
RECIPROIL LTDA.	Resolución No. 1825 del 15/10/2006 Modificación Resolución No. 190 del 18/01/2011	Recepción, almacenamiento y procesamiento de aceites usados	Procesamiento de aceites usados. Recepción, almacenamiento y envío a disposición final de residuos sólidos impregnados con hidrocarburos, y tratamiento físico. Envío a disposición final y/o aprovechamiento en fundición de filtros usados
RECONSTRUCTORA DE ENVASES S.A. REDENVASES S.A.	Resolución No. 649 del 28/02/2014	Almacenamiento, aprovechamiento, recuperación y tratamiento de residuos peligrosos (RESPEL)	Reacondicionamiento de tambores tapa aro común, tambores cerrados, garrafas plásticas y tanques IBC. (material impregnado o en contacto con resinas y polímeros, emulsiones vinílicas / acrílicas, hidrocarburos, ácido fosfórico grado alimento, pinturas base aceite, thinner, solventes contaminados, soda cáustica contaminada, material impregnado con solventes).
TRATAR AMBIENTAL S.A.S.	Resolución 2848 del 16/12/2015 (Cesión de la Resolución No. 8650 del 03/12/2009 de Domínguez Sánchez S.A.)	Almacenamiento y tratamiento de lodos y aguas hidrocarburadas	Almacenamiento y tratamiento de lodos y aguas hidrocarburadas, incluyendo actividades de recepción, almacenamiento, y tratamiento de lodos hidrocarburados –

Empresa	Licencia otorgada	Actividad	Tipos de residuos autorizados
			borras – y aguas hidrocarburadas mediante el sistema de láminas filtrantes.
WESTECH RECYCLERS OF LATIN AMERICA S.A.S.	Resolución No. 1705 del 30/09/2013	Almacenamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	Almacenamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), incluyendo pequeños electrodomésticos, equipos informáticos y de telecomunicaciones, aparatos eléctricos de consumo, herramientas eléctricas y electrónicas, y juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre

Fuente: IDU, 2020.

3.2.24.2. Estimación de los volúmenes de residuos peligrosos y no peligrosos

En la Tabla 93 se estima la cantidad de residuos convencionales que se pueden generar en el proyecto L2MB.

Tabla 93. Estimación de generación de residuos domiciliarios Kg/mes

Tipo de residuo	Kg/mes	Kg/proyecto	Toneladas
Orgánicos	167,59	4533,75	4,53
Comunes	1116,96	30166,87	30,12
Papel	903,84	24412,5	24,41
Cartón	620	16740	16,71
Plástico	781,29	21099,37	21,07
Vidrio	697,5	1395	1,35
Metal	1705	46035	46,01
Total	5992,20	144382,5	144,22

Fuente: U.T MOVIUS, 2022.

La estimación de residuos peligrosos presentada en la Tabla 94, se realiza una estimación aproximada.

Tabla 94. Estimación de residuos peligrosos

Tipo de residuo	Kg/mes	Kg/proyecto	Toneladas
Aceites usados	57,78	1145,06	1,14
Peligrosos	955,81	15732,5	15,73

Fuente: U.T MOVIUS, 2022.

3.2.25. Aspectos de diseño para la mitigación e impactos ambientales y sociales

En relación con los aspectos contemplados para la mitigación de impactos ambientales y sociales se han establecido los siguientes:

Mitigación del aumento en los niveles de ruido por de la circulación de los trenes

Como parte de los criterios de diseño contemplados para la estructura del viaducto se consideró una tipología de viaducto elevado en viga Gran U. A partir de esta configuración, es posible generar una protección de sonido que permita aislar el ruido aéreo generado por el paso del material rodante permitiendo el control de las emisiones acústicas puesto que las almas laterales del viaducto en U ejercen la función de pantallas anti-ruido, debido, entre otros, a la porosidad del concreto. Para el caso del patio-taller, tanto en construcción como en operación se contará con infraestructura adicional disipando cualquier posibilidad de ruido por fuera de la norma Distrital.

Todas las estaciones subterráneas serán construidas por el método de *Cut&Cover* y sus excavaciones resultarán en una caja de 160 m de largo (interno), por 22,80 m de ancho (interno), donde se alojarán las vías férreas, plataformas, equipamientos de circulación vertical e instalaciones de ventilación del túnel, entre otros. En la Estación E1, debido al ancho ampliado de las plataformas, la caja tendrá 25,80 m de ancho interno.

Todas las estaciones subterráneas, con excepción de la Estación E3, serán construidas bajo espacios originalmente ocupados por predios privados para que no se produzcan afectaciones significativas en calles y avenidas. Los inmuebles privados afectados demandarán su compra o expropiación. La Estación E3, excepcionalmente, ocupará un espacio público en el interior del distribuidor vial de la carrera 68 con calle 68 y calle 72. Contemplará también la integración con Transmilenio de la Av. 68.

Mitigación del aumento en las vibraciones por de la circulación de los trenes

La definición de los apoyos y conectores del material rodante en la estructura del patio-taller, túnel, viaducto, y estaciones minimiza los efectos de vibración al tener elementos que disipan energía en las conexión de los rieles o vías del material rodante y las estructuras del Metro.

Reducción de la inseguridad y residuos sólidos

La L2MB representa una oportunidad de renovación del tejido urbano. De acuerdo con lo anterior, las características del diseño urbano-paisajístico se definieron para dar respuesta a los requerimientos en el aspecto social, ambiental, de eficiencia y sostenibilidad, resaltando en este aspecto el criterio de circulación continua, fluida y libre de obstáculos, que consiste en la adecuación y consolidación de andenes, plazas y plazoletas, implementación de luminarias, así como la adecuada articulación del espacio público en los sitios de acceso al sistema.



Reducción de emisiones atmosféricas

La L2MB funcionará en un 100% a partir de energía eléctrica, lo que elimina las emisiones del proyecto durante la operación y circulación de los trenes.