



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

**Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte**

0 - Resumen de la infraestructura del proyecto

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



TABLA DE CONTENIDO

0. RESUMEN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO	9
1. TRAZADO	9
2. TÚNEL	11
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL	11
2.2 ABSCISADO	80
2.3 PERFIL LONGITUDINAL	13
2.4 SECCIÓN CONSTRUCTIVA	13
2.5 POZOS DE ENTRADA Y SALIDA DE LA TUNELADORA	14
2.5.1 Pozo de entrada	14
2.5.2 Pozo de salida	16
2.6 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL	18
2.7 FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA EPB	19
2.8 ANÁLISIS DE SUBSIDENCIAS	21
2.9 TRATAMIENTOS DEL TERRENO	24
2.9 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	28
3. VIADUCTO	31
3.1 TABLERO	31
3.2 PILAS	33
4. ESTACIONES SUBTERRÁNEAS	33
4.1 MÉTODO CONSTRUCTIVO	37
4.2 TRATAMIENTOS ESPECIALES	39
4.3 INSTRUMENTACIÓN	41
4.4 ACCESOS	42
4.4.1 Módulo de acceso principal tipo 1	42
4.4.2 Módulo de acceso satelital tipo 2	43
4.4.3 Módulo de acceso satelital tipo 3	43
4.5 BICIPARQUEADEROS	45
5. ESTACIÓN ELEVADA	46
6. PATIO TALLER	48
6.1 UBICACIÓN	48
6.2 ADECUACIÓN	49
6.3 CRITERIOS DE DIMENSIONADO	51
6.4 OPERACIÓN	51
6.5 INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO	52
6.6 REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN	56
6.7 ACCESO	56
6.8 MOVIMIENTOS	56
6.9 REQUERIMIENTOS DE SUPERFICIE	57

6.10 MANTENIMIENTO	58
6.10.1 Estrategia de mantenimiento de la L2MB	58
6.10.2 Tipos de mantenimiento previstos	59
6.10.2.1. Mantenimiento preventivo	59
6.10.2.1.1 Mantenimiento sistemático	60
6.10.2.1.2 Mantenimiento condicional	60
6.10.2.1.3 Mantenimiento predictivo	60
6.10.2.2 Mantenimiento correctivo	60
6.10.2.2.1 Mantenimiento paliativo	60
6.10.2.2.2. Mantenimiento curativo	60
6.10.3 Actividades de mantenimiento	61
6.11 LAYOUT	63
7. CENTRO DE CONTROL OPERACIONAL - CCO	64
7.1 FUNCIONES	65
7.2 CARACTERÍSTICAS	65
7.3 ORGANIZACIÓN	65
7.4 ARQUITECTURA TÍPICA DEL SISTEMA DE COMANDO Y SUPERVISIÓN	67
7.5. UBICACIÓN DEL CCOP Y CCOR	68
8. CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DE VÍAS URBANAS	68
8.1 CARACTERÍSTICAS	69
8.1.1 Calle 145 - Carrera 48	69
8.1.2 Calle 146	70
8.1.3 Calle 144	71
9. URBANISMO Y PAISAJISMO	71
9.1 FRANJA DE CIRCULACIÓN PEATONAL	71
9.2 CICLORUTAS	72
9.3 FRANJA DE PAISAJISMO	73
9.4 ACCESOS A PREDIOS Y RAMPAS VEHICULARES	73
9.5 MOBILIARIO URBANO	73
9.6 PAISAJE	74
9.7 INTERVENCIONES	76
9.8 MULTIMODALIDAD EN ESTACIONES DE LA L2MB	78
10. SUPERESTRUCTURA DE VÍA	78
10.1 VÍAS FÉRREAS PRINCIPALES	79
10.2 VÍAS FÉRREAS DEL PATIO TALLER	80
10.3 REPLANTEO DE VÍAS FÉRREAS	81
10.4 ENSANCHAMIENTO DE LAS VÍAS FÉRREAS	81
10.5 TOLERANCIAS DE MONTAJE	81
11. MATERIAL RODANTE	82
12. PUERTAS DE ANDÉN	89

13. SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES	91
13.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA CBTC Y SU EVOLUCIÓN	93
13.1.1 Arquitectura 1: Típica con detección secundaria	93
13.1.2 Arquitectura 2: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC con detección secundaria	93
13.1.3 Arquitectura 3: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC sin detección secundaria	94
13.1.4 Arquitectura 4: CBTC centrada en el tren (Urbalis Fluence)	94
13.1.5 Recomendación para la L2MB	95
13.2 PRINCIPIOS GENERALES	95
13.2.1 Intervalo de diseño mínimo	96
13.2.2 Operación inatendida	96
14. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	98
14.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN DE ALIMENTACIÓN DE TRACCIÓN 1500V	98
14.2 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN DE DISTRIBUCIÓN MEDIA TENSIÓN	100
14.2.1 Modos de operación	101
14.2.2 Centro de transformación de energía	102
14.3 SISTEMA MECÁNICO DE ENCLAVAMIENTO CON LLAVES	103
14.4. CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN DE ALIMENTACIÓN TRACCIÓN Y TALLERES	103
15. TELECOMUNICACIONES	104
15.1 ASPECTOS CLAVES CONSIDERADOS EN LOS DISEÑOS DE FACTIBILIDAD	104
15.2. PROCESO DE FORMULACIÓN DE RECOMENDACIONES	105
15.2.1 Criterios operacionales	105
15.2.2. Obsolescencia tecnológica	105
15.2.3 Tecnologías no propietarias	105
15.2.4 Niveles de integración	105
15.2.5 Estado del arte en redes de Metro	105
15.3 RECOMENDACIONES PARA LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES	105
15.3.1 Sistema IHM de Comunicaciones (IHM COM)	105
15.3.1.1.1 Módulos de la interfaz gráfica	106
15.3.1.1.2 Versión de IHM COM para dispositivos móviles o tablets	106
15.3.2 Red multiservicios (RMS)	106
15.3.3 Plataforma colaborativa y comunicaciones unificadas IP-telefonía	106
15.3.4 Red de banda ancha	107
15.3.5. Sistema Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)	107
15.3.6 Otros temas a considerar por subsistemas	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distancias por tipología constructiva

Tabla 2. Estaciones de la L2MB

Tabla 3. Abscisado del túnel

Tabla 4. Características del pozo de entrada

Tabla 5. Características del pozo de salida

Tabla 6. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

Tabla 7. Tratamientos tipo para mejoramiento del terreno.

Tabla 8. Tratamientos previstos a lo largo de la L2MB

Tabla 9. Características de las estaciones subterráneas

Tabla 10. Localización de principales obras existentes con respecto a las pantallas de las estaciones

Tabla 11. Tabla de instalaciones de mantenimiento

Tabla 12. Áreas del Patio-Taller

Tabla 13. Plan de mantenimiento del material rodante

Tabla 14. Plan de mantenimiento

Tabla 15. Vías de mantenimiento requeridas

Tabla 16. Tipología de las vías por construirse en el proyecto de L2MB

Tabla 17. Características técnicas del material rodante

Tabla 18. Configuración de 7 coches en carga normal de 6 pasajeros de pie / m²

Tabla 19. Requisitos de confort acústico

Tabla 20. Modos de Operación

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trazado y estaciones de la L2MB

Figura 2. Sección constructiva del túnel

Figura 3. Ubicación en planta del pozo de entrada

Figura 4. Perfil longitudinal del pozo de entrada

Figura 5. Sección transversal pozo de entrada

Figura 6. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (planta)

Figura 7. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (cortes)

Figura 8. Excavación de pantalla preexcavadas (Cut & Cover)

Figura 9. Ubicación en planta del pozo de salida

Figura 10. Sección transversal pozo de salida

Figura 11. Granulometría de los terrenos y aplicación a los escudos EPB (Tobergte & Curtis, 2013)

Figura 12. Principio de funcionamiento de EPB Shield

- Figura 13. Rangos de aplicación de la EPB y condicionantes del terreno
- Figura 14. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand
- Figura 15. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Brazo Humedal Juan Amarillo
- Figura 16. Tratamiento A: Mejoramiento del terreno con Jet Grouting.
- Figura 17. Tratamiento B: Mejoramiento del terreno con inyecciones de fracturación.
- Figura 18. Tratamiento C: Mejoramiento del terreno con taladros cortos de inyección de mortero.
- Figura 19. (Izquierda) Tratamiento D: Barreras de columnas de Jet Grouting. (Derecha) Tratamiento E: Barreras de pilotes de mortero.
- Figura 20. (Izquierda) Tratamiento F: Barreras de micropilotes - encamisado acero. (Derecha) Tratamiento G: Barreras de micropilotes - prefabricados.
- Figura 21. Planta tipo de instrumentación requerida para el túnel.
- Figura 22. Sección tipo de instrumentación del túnel
- Figura 23. Planta del viaducto elevado y planteamiento de pilas.
- Figura 24. Perfil longitudinal del viaducto elevado.
- Figura 25. Sección de tablero tipo Gran U.
- Figura 26. Tramo tipo Viaducto elevado vista en planta y elevación
- Figura 27. Capitel de pila típico.
- Figura 28. Planta en superficie estación 1
- Figura 29. Sección transversal de la estación 1
- Figura 30. Sección transversal módulo de acceso estación 1
- Figura 31. Planta típica estaciones 2 a 10
- Figura 32. Sección transversal típica de las estaciones 2 a 10
- Figura 33. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (planta)
- Figura 34. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (cortes)
- Figura 35. Excavación de pantalla preexcavadas (Cut & Cover. Método invertido)
- Figura 36. Barreras longitudinales de micropilotes
- Figura 37. Muro a las entradas y salida de las estaciones (perfil y sección)
- Figura 38. Estación de instrumentación típica en estaciones subterráneas
- Figura 39. Módulos de acceso tipo 1 en Estación 5
- Figura 40. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación 4 (Av. Boyacá)
- Figura 41. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación 3 (Av. 68)

Figura 42. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones construidas con pantallas

Figura 43. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones mediante túneles independientes construidos con sistema Liner

Figura 44. Número de biciparqueaderos en estaciones

Figura 45. Perfil longitudinal del viaducto elevado en la zona de la Estación 11

Figura 46. Planos de los pisos de entrada y de plataformas de la estación elevada

Figura 47. Sección transversal de la estación elevada

Figura 48. Detalle de estructura del cajón y capitel extendido de la estación elevada

Figura 49. Ubicación del área destinada para el Patio Taller en predio Fontanar del Rio

Figura 50. Planta de obras geotécnicas Patio Taller

Figura 51. Sección transversal A-A costado jarillón

Figura 52. Sección transversal A-A al costado de conjuntos residenciales.

Figura 53. Sinopsis del mantenimiento previsto en la L2MB

Figura 54. Flujo de trabajo ideal

Figura 55. Flujo de trabajo segregado

Figura 56. Layout del patio-taller

Figura 57. Organización en el CCO

Figura 58. CCO del Metro de Sidney

Figura 59. CCO del Metro de Dubai

Figura 60. Arquitectura típica del SCS

Figura 61. Ubicación del CCOP en al nivel Mezzanina - 2 en la estación 5

Figura 62. Ubicación del data center al nivel Mezzanina - 3

Figura 63. Trazado en planta prolongación calle 145

Figura 64. Trazado en planta prolongación calle 146

Figura 65. Trazado en planta de la calle 144 entre carreras 148 y 150 C

Figura 66. Franja de circulación peatonal

Figura 67. Franja de cidorruta

Figura 68. Franja de paisajismo

Figura 69. Ítems de mobiliario considerados

Figura 70. Ejemplo de intervención de mejoramiento en sección transversal

Figura 71. Ejemplo de reconfiguración de tipo de calle en sección transversal

Figura 72. Ejemplo del urbanismo y paisajismo previsto en la Estación 5

Figura 73. Detalle de integración multimodal en la Estación 5 de la L2MB

Figura 74. Ejemplo de configuración de tracción (R: remolque, M: motor, Mp: motor con pantógrafo)

Figura 75. Arreglo de asientos

Figura 76. Fijación de un asiento

Figura 77. - Representación esquemática del sistema de Puertas de Andén propuesto para la L2MB

Figura 78. - Aislación de las PDA

Figura 79. - Soluciones de señalización CBTC vs no CBTC para metros totalmente automatizados, medido km equipado y % de km inaugurado en la última década

Figura 80. Arquitectura 1

Figura 81. Arquitectura 2

Figura 82. Arquitectura 3

Figura 83. Arquitectura 4

Figura 84. - Diagrama simple del CBTC (fuente: Siemens)

Figura 85. - Niveles de automatización

Figura 86. 1500 V con catenaria rígida en túnel

Figura 87. Componentes y unilineal de SER GIS no redundante

Figura 88. Solución GIS de SER redundante

Figura 89. Unilineal de SER redundante

Figura 90. Configuración base de 2 anillos de MT

Figura 91. Interruptores y barras principales de CT anillo 1 y 2

Figura 92. Ejes para la factibilidad

Figura 93. Tipos de RMS

Figura 94. Tipos de telefonía

0. RESUMEN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO

1. TRAZADO

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.15 (Diseño geométrico sistema Metro - Informe)
- Carpeta 10.15 (Diseño geométrico sistema Metro - Anexos)

La siguiente figura muestra el trazado de la L2MB, el cual tiene 15,5 km de longitud y 11 estaciones en su recorrido.

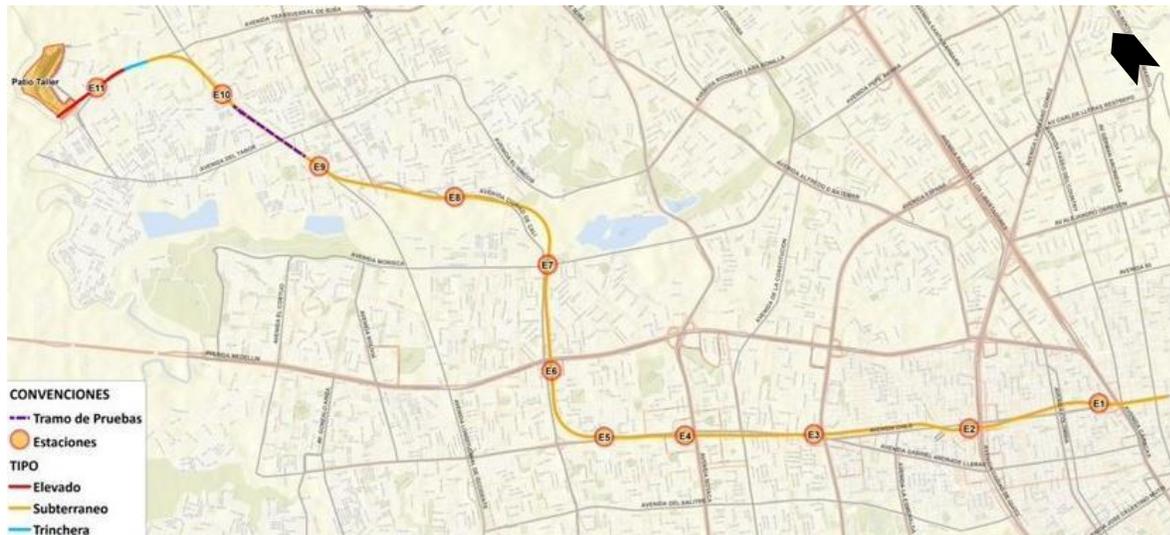


Figura 1. Trazado y estaciones de la L2MB

La L2MB dispone de tres secciones tipo, túnel, trinchera y viaducto elevado, siendo el tramo en trinchera aquel donde se hace la transición entre el túnel y el viaducto.

Tabla 1. Distancias por tipología constructiva

Tramo	Extensión (m)
Tramo en túnel (entre E1 y E10)	14.200
Trinchera (al Norte de E10, zona de transición)	300
Elevado (E11 y acceso al patio-taller)	1.000

La L2MB comienza en el eje de la calle 72 con carrera 10 en dirección a occidente, con 460 m en recta hacia el cruce con la Avenida Caracas. En ese tramo en recta se desarrolla la cola de maniobras del extremo oriental del trazado.

Luego de pasar bajo el deprimido de la calle 72 con Avenida Caracas (actualmente en construcción como parte de los trabajos de la PLMB), el túnel discurre a lo largo de la calle 72 hasta la Avenida Ciudad de Cali, donde hace un giro de aproximadamente 90° hacia el norte y avanza por el costado oriental de la Avenida Ciudad de Cali hasta el campo de golf del Club Los Lagartos. En ese punto gira hacia el noroccidente con una curva amplia y encuentra nuevamente la Avenida Ciudad de Cali. Luego de pasar bajo un brazo estrecho del humedal Juan Amarillo, el túnel comienza a separarse de dicha avenida y se enruta bajo del barrio Nuevo Corinto hasta el predio de la ALO Norte, al cual llega en su extremo sur. Allí se dirige hacia el norte por el centro del predio hasta la altura de la calle 144, donde gira al occidente e ingresa a la calle 145 o Avenida Transversal de Suba.

En la calle 145 el túnel sale 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 (la única que se tiene previsto construir en superficie), se inicia la cola de maniobras del extremo occidental del trazado y las rampas de acceso al patio y taller, localizado en el predio Fontanar del Río.

La L2MB tiene once estaciones, de las cuales diez son subterráneas y una elevada. Son las siguientes:

Tabla 2. Estaciones de la L2MB

		Tipo	Integración
E1	Cl 72 x Av. Caracas	Subterránea	Línea 1 + Transmilenio
E2	Cl 72 x NQS	Subterránea	Transmilenio + Regiotram
E3	Cl 72 x Cr 68	Subterránea	Transmilenio
E4	Cl 72 x Av. Boyacá	Subterránea	Transmilenio
E5	Cl 72 x Carrera 80	Subterránea	
E6	Av. Cali x Cl 80	Subterránea	Transmilenio
E7	Av. Cali x Cl 90	Subterránea	
E8	Av. Cali x Cr 93	Subterránea	
E9	ALO x Cl 129	Subterránea	
E10	ALO x Cl 139	Subterránea	
E11	Tr. Suba x Cr 141a	Elevada	

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. Ello así en el entendimiento de que la velocidad es uno de los factores más determinantes en el diseño de 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 ese sentido, se han previsto radios mínimos de curvatura de 400 m de manera tal de minimizar cualquier impacto en la velocidad operacional.

Desde la perspectiva de implantación urbana, y considerando que se trata de una línea mayoritariamente subterránea, se ha tenido especial consideración en evitar afectaciones en superficie como consecuencia de la obra y de la operación de la L2MB. Al respecto, se ha dispuesto geométricamente un túnel profundo para aislarlo de la superficie y minimizar las posibles interacciones dentro de niveles tolerables, según la normatividad nacional e internacional.

Para mayor eficacia, en los tramos inter estación se ha procurado profundizar el túnel buscando por un lado una mayor distancia con la superficie, pero también lograr una marcha ferroviaria eficiente por cuanto dichas pendientes aceleran al tren a la salida de la estación y lo frenan al llegar a la próxima estación, contribuyendo a una marcha ferroviaria adecuada desde el punto de vista energético y con reducciones de OPEX en toda la vida útil del proyecto.

2. TÚNEL

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.18.1 (Túnel - Obras civiles - Informe)
- Documento 10.18.2 (Túnel - Ventilación - Informe)
- Documento 10.18.3 (Túnel - Detección y extinción de incendios - Informe)
- Carpeta 10.18. Túnel - Anexos (Planos)

Las obras de la L2MB contemplan la construcción de un túnel con características de Monotúnel (un único túnel por donde circulan trenes en los dos sentidos), 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 (11,19 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 occidente 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 de medidas de materiales acondicionantes que deben ser aplicadas tanto en el frente de la máquina como en su interior para sortear las diferentes condiciones de excavación que serán enfrentadas, y para garantizar la aplicación de presión balanceada en el frente y manejar los materiales de excavación para su retiro.

Además del túnel, se construirán 11 galerías subterráneas cortas para conexión del túnel con 11 pozos de evacuación y drenaje, ubicados entre estaciones subterráneas al menos cada 760 m en cumplimiento de las Normas de Seguridad 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 se realizarán tratamientos de terreno desde superficie, en sitios específicos 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**. También 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.

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL

- El alineamiento en planta se ajustó para ser excavado con máquina EPB, buscando ser lo más recto posible, pero con algunas curvas graduales de radio amplio (> 400 m) en consideración al trazado o a la presencia de sitios particulares donde era necesario evitar interferencias y afectaciones en superficie.
- La pendiente longitudinal máxima no será mayor del 4%.

- La pendiente del túnel se verificó para facilitar la evacuación de agua, por lo que nunca será menor de 0,2%.
- Los pozos de entrada y salida servirán para el montaje o desmantelamiento y retiro de la máquina EPB, y del equipo de backup.
- Para el pozo de entrada de la máquina tuneladora se realizará una excavación a corte abierto con una sección tipo trinchera (Cut and Cover - método invertido) de 225,0 m de longitud y 14,80 m de ancho entre pantallas, de profundidad variable.
- El pozo de salida de la máquina será de sección rectangular, de 40 m de largo, 15,0 m de ancho y 50,5 m de profundidad.
- Los pozos de evacuación y bombeo se construirán con una sección circular de 9,40 m de diámetro, a profundidades variables. Estos pozos se localizan a una distancia que varía entre 440 y 720 m de las estaciones según lo establece la norma NFPA 130, y se construirán lateralmente o al costado del Monotúnel, bajo predios adquiridos para ese fin. Los pozos se conectarán con el Monotúnel mediante galerías subhorizontales de sección circular de 6,00 m de diámetro de excavación, con longitudes del orden de 5,00 m.
- La cobertura desde la superficie a la cota clave del túnel será variable a lo largo de todo el trazado, dependiendo de los siguientes factores: a) las condiciones del terreno, b) la presencia o no de obstrucciones u obras construidas o por construir, c) el diámetro de excavación del túnel y d) el método de construcción.
- Se estableció una cobertura que redujera los asentamientos y mantuviera las condiciones de estabilidad del frente del túnel. La cobertura mínima se determinó en 1,5 D, siendo D el diámetro externo del escudo o túnel.

2.2 ABSCISADO

El abscisado del túnel es el siguiente:

Tabla 3. Abscisado del túnel

INICIO	FIN	ABSCISA INICIO	ABSCISA FIN	Longitud (m)
POZO DE SALIDA (CRA. 10)		K0+000	K0+040	40,0
Pozo Salida	Estación 1	K0+040	K0+685	645,0
ESTACIÓN 1		K0+685	K0+845	160,0
Estación 1	Estación 2	K0+845	K2+189.47	1344,47
ESTACIÓN 2		K2+189.47	K2+349.47	160,0
Estación 2	Estación 3	K2+349.47	K3+960	1610,53
ESTACIÓN 3		K3+960	K4+120	160,0
Estación 3	Estación 4	K4+120	K5+415	1295,00
ESTACIÓN 4		K5+415	K5+575	160,0
Estación 4	Estación 5	K5+575	K6+330	755,0
ESTACIÓN 5		K6+330	K6+490	160,0
Estación 5	Estación 6	K6+490	K7+432	942,0
ESTACIÓN 6		K7+432	K7+592	160,0
Estación 6	Estación 7	K7+592	K8+670	1078,0
ESTACIÓN 7		K8+670	K8+830	160,00
Estación 7	Estación 8	K8+830	K10+250	1420,0
ESTACIÓN 8		K10+250	K10+410	160,0
Estación 8	Estación 9	K10+410	K11+840	1430,0
ESTACIÓN 9		K11+840	K12+000	160,0
Estación 9	Estación 10	K12+000	K13+210	1210,0
ESTACIÓN 10		K13+210	K13+370	160,0

Estación 10	Pozo Entrada	K13+370	K14+280	910,0
POZO DE ENTRADA		K14+280	K14+500	220,0
Pozo Entrada	Estación 11	K14+500	K14+880	380,0
ESTACIÓN 11		K14+880	K15+040	160,0
Estación 11	Patio Taller	K15+040	K15+505.64	465,64
POZO DE SALIDA (km)				0,04
10 ESTACIONES SUBTERRÁNEAS (km)				1,60
TRAMO SUBTERRÁNEO (km)				12,64
POZO DE ENTRADA (km)				0,22
1 ESTACIÓN ELEVADA (km)				0,16
TRAMO ELEVADO (km)				0,85
TOTAL L2MB (km)				15,50

2.3 PERFIL LONGITUDINAL

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; de esa manera, en la proximidad de las estaciones siempre se respeta la cobertura mínima de 1,5 D.

En los sitios de los pozos de evacuación y drenaje (bombeo), la línea se profundiza, variando la cobertura desde 18,16 m a 34,81 m según la ubicación respectiva del pozo.

El túnel pasará por debajo de los siguientes sitios particulares:

- 1) El paso deprimido vehicular de la calle 72 con Avenida Caracas, a 8,92 m de la parte más profunda de la pantalla de esta obra, actualmente en construcción.
- 2) El Canal Arzobispo en la calle 72 con transversal 56a, a una profundidad de 21,04 m.
- 3) La tubería de la red matriz del acueducto de Bogotá en la Avenida Boyacá, a una distancia vertical de 18,63 m.
- 4) El Canal Salitre en la Avenida Ciudad de Cali y diagonal 91, a 16,27 m.
- 5) El Club Los Lagartos entre las estaciones 7 y 8, a una profundidad variable entre 18,8 y 27,7 m,
- 6) El brazo del humedal Juan Amarillo en la Avenida Ciudad de Cali con Carrera 100, a una profundidad del vaso de 22,15 m
- 7) El Canal Cafam en la Avenida Longitudinal de Occidente y la calle 142, a una profundidad de 21,90 m.

2.4 SECCIÓN CONSTRUCTIVA

El túnel de la L2MB se excavará con máquina tuneladora, considerando un diámetro interior de uso de 10 m, dejándose una tolerancia constructiva de 10 cm en cada lado por las convergencias que el túnel pueda tener y por el requerimiento de gálbos para el material rodante.

El diámetro teórico interior será de 10 m y el diámetro teórico exterior de 10,8 m del anillo de dovelas, considerando un espesor de dovelas de 0,40 m.

En la figura siguiente se presenta la sección transversal del túnel.

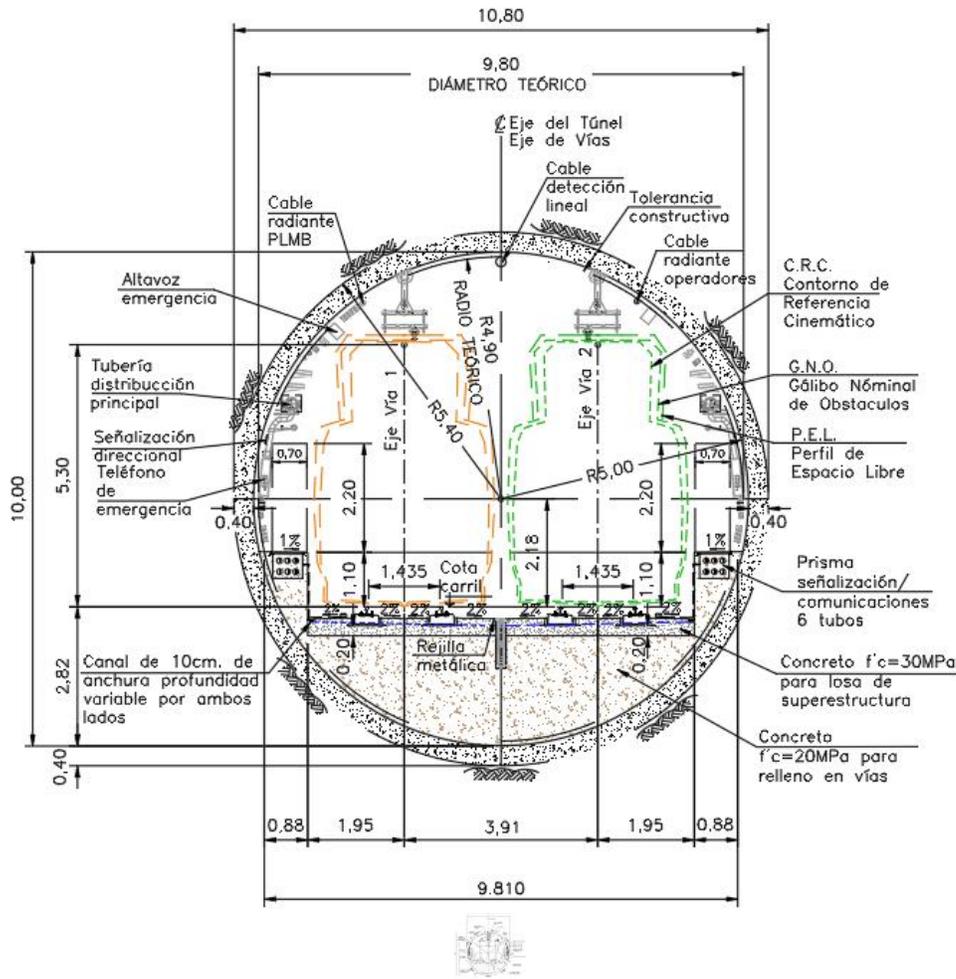


Figura 2. Sección constructiva del túnel

2.5 POZOS DE ENTRADA Y SALIDA DE LA TUNELADORA

2.5.1 Pozo de entrada

El pozo de entrada de la máquina EPB se ubicará en la localidad de Suba, sobre el trazado del túnel, entre las estaciones No. 10 (subterránea) y No. 11 (elevada), entre las abscisas K14+280 y K14+500.

Este pozo se construirá en la parte de mayor profundidad con sistema Cut & Cover - método invertido y luego en trinchera con pantallas preexcavadas.

Los muros pantalla preexcavados serán de 1,20 m de espesor, los cuales se construirán desde la superficie hasta la profundidad de empotramiento requerida antes de realizar la excavación interna.

La separación entre las pantallas laterales será de 14,80 m y la profundidad a riel será variable de 11,01 m a 1,5 m. La profundidad de empotramiento de las pantallas variará de 9,5 m a 5,0 m. La excavación del pozo permitirá construir el empotramiento para el túnel en la abscisa K14+280 y las dimensiones requeridas para el montaje de la máquina tuneladora.

En la siguiente tabla se presenta la relación de las características del pozo de entrada.

Tabla 4. Características del pozo de entrada

SECCIÓN	ABSCISAS		Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Empotramiento (m)
	INICIAL	FINAL			
1	K14+280	K14+304	-10,2	14,80	9,5
2	K14+304	K14+344	-8,9	14,80	9,5
3	K14+344	K14+374	-7,5	14,80	8,0
4	K14+374	K14+404	-6,6	14,80	5,6
5	K14+404	K14+434	-5,1	14,80	5,6
6	K14+434	K14+464	-4,3	14,80	5,4
7	K14+464	K14+500	-2,8	14,80	5,0

En las figuras siguientes se muestra la ubicación del pozo de entrada y su perfil longitudinal.

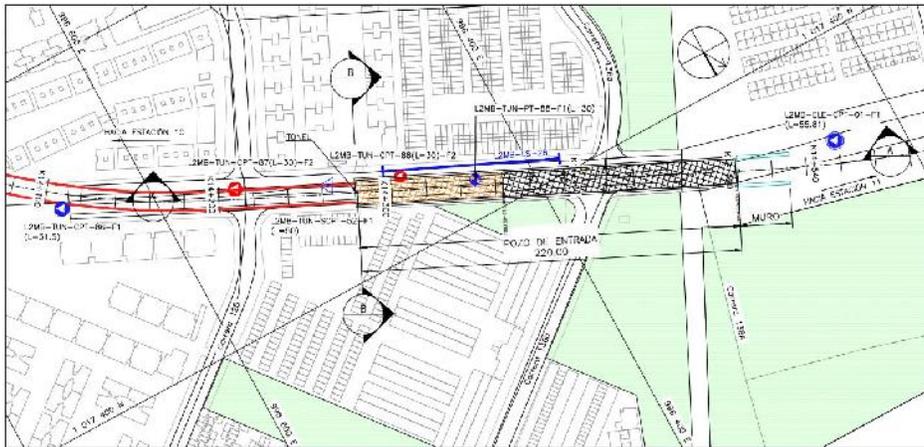


Figura 3. Ubicación en planta del pozo de entrada

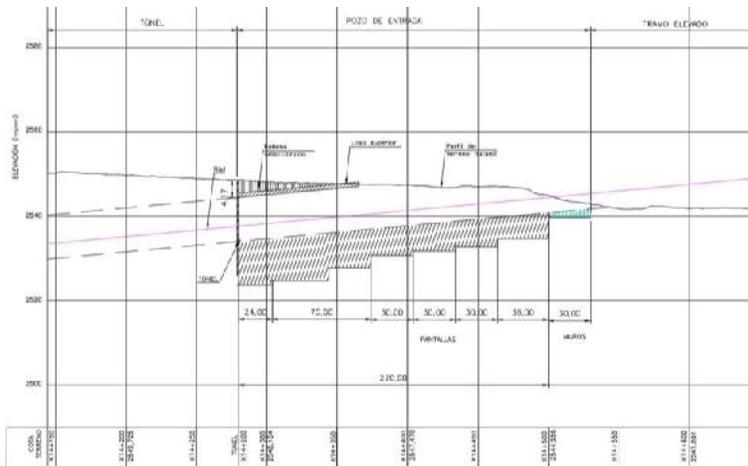


Figura 4. Perfil longitudinal del pozo de entrada

En la figura siguiente se muestra la sección transversal típica del pozo de entrada.

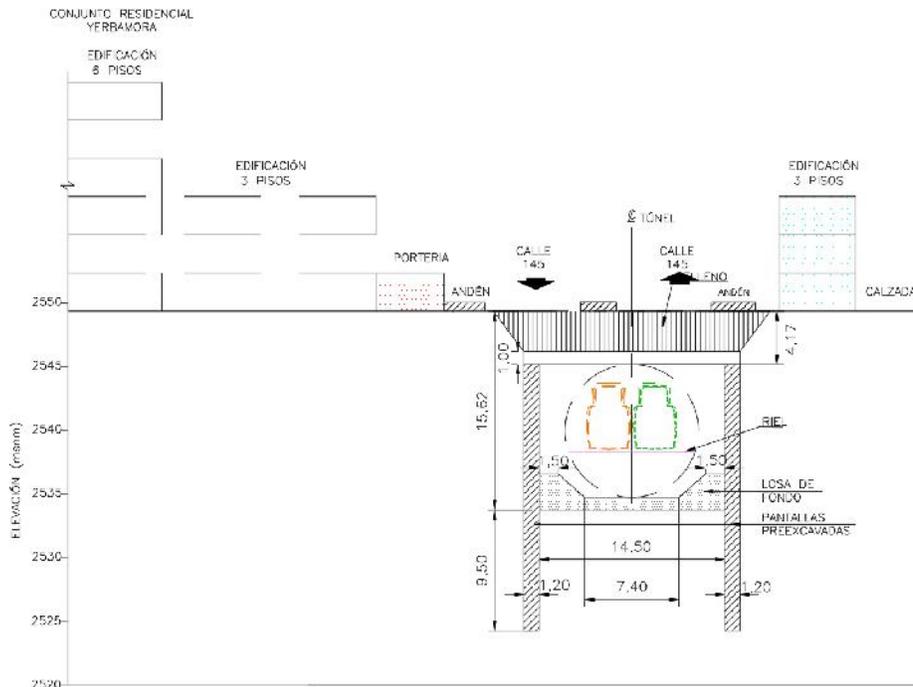


Figura 5. Sección transversal pozo de entrada

2.5.2 Pozo de salida

El pozo de salida de la tuneladora se ubicará en la localidad de Chapinero, específicamente en la Calle 72 al oriente de la Avenida Caracas y de la estación 1 (subterránea), entre las abscisas K0+000 y K0+040.

Se construirá con muros pantalla preexcavados de 1,20 m de espesor con una separación de 15,0 m y profundidad a losa de fondo de 50,5 m. El empotramiento de las pantallas será de 9,3 m. La excavación del pozo permitirá retirar la máquina tuneladora una vez finalice la excavación del Monotúnel.

En la siguiente tabla se presenta la relación de las características del pozo de salida:

Tabla 5. Características del pozo de salida

SECCIÓN	ABSCISAS		Profundidad media a riel (m)	Ancho útil (m)	Empotramiento (m)
	INICIAL	FINAL			
1	K0+000	K0+010	-46,5	18,0	9,25
2	K0+010	K0+030	-46,0	18,0	10,25
3	K0+030	K0+040	-45,7	18,0	11,25

El método constructivo del pozo de salida será con sistema Cut & Cover, con el siguiente procedimiento:

- Excavación del terreno a nivel.
- Construcción de las pantallas 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 6
- ❖ 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 dejan formaletas para juntas temporales machihembradas (Figura 7).
- ❖ Colocación de la jaula de acero de refuerzo.
- ❖ Vaciado de concreto tremie, que por diferencia de densidades desaloja el lodo de bentonita del hueco.
- Se realiza la excavación de material de suelo hasta el primer nivel de apuntalamiento temporal, localizado en la parte media la superficie y el fondo de la excavación. En el proceso se irán colocando o instalando los puntales temporales.
- Excavación de material de suelo hasta la losa de fondo. Construcción de la losa de fondo.

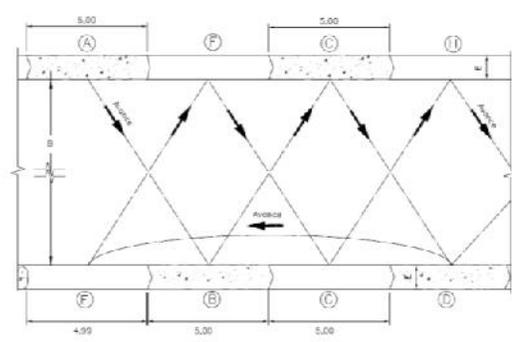


Figura 6. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (planta)

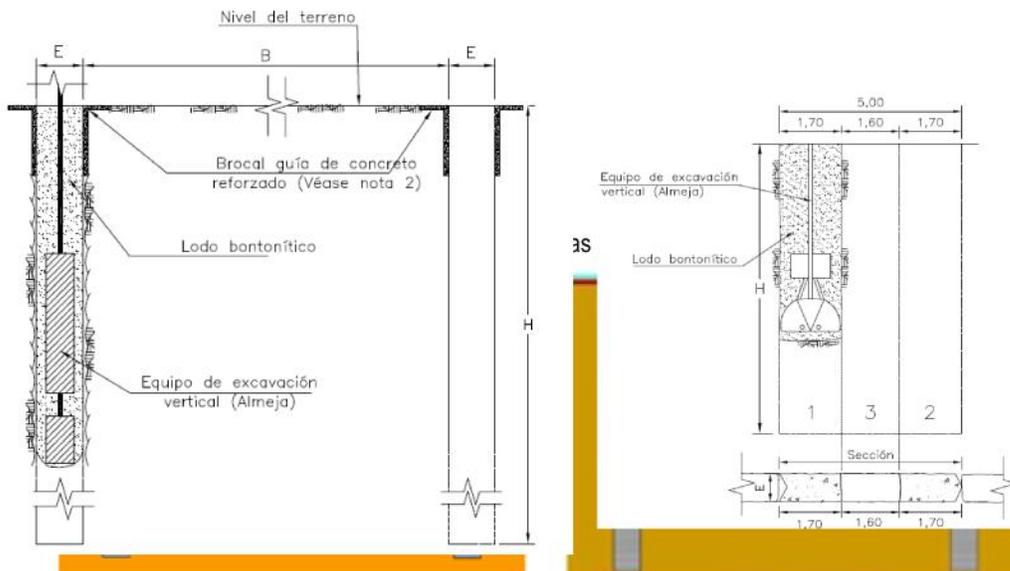


Figura 8. Excavación de pantalla preexcavadas (Cut & Cover)

En las siguientes figuras se detalla la ubicación del pozo de salida y la sección transversal del mismo

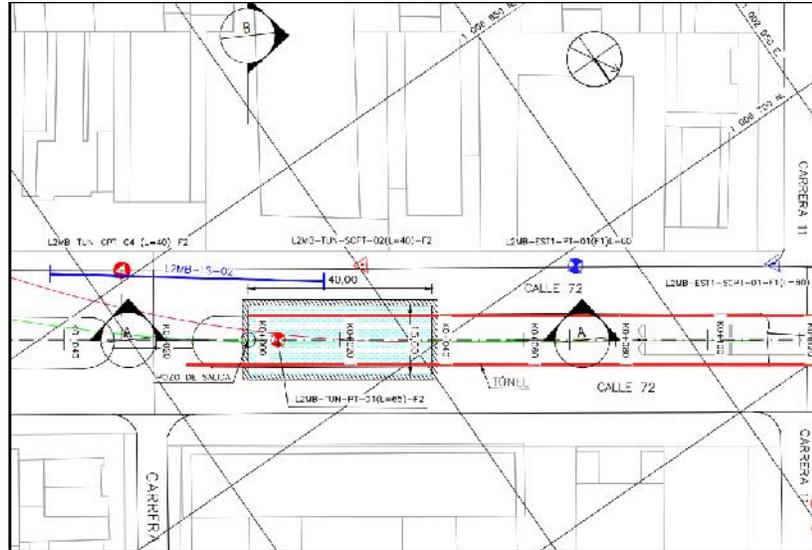


Figura 9. Ubicación en planta del pozo de salida

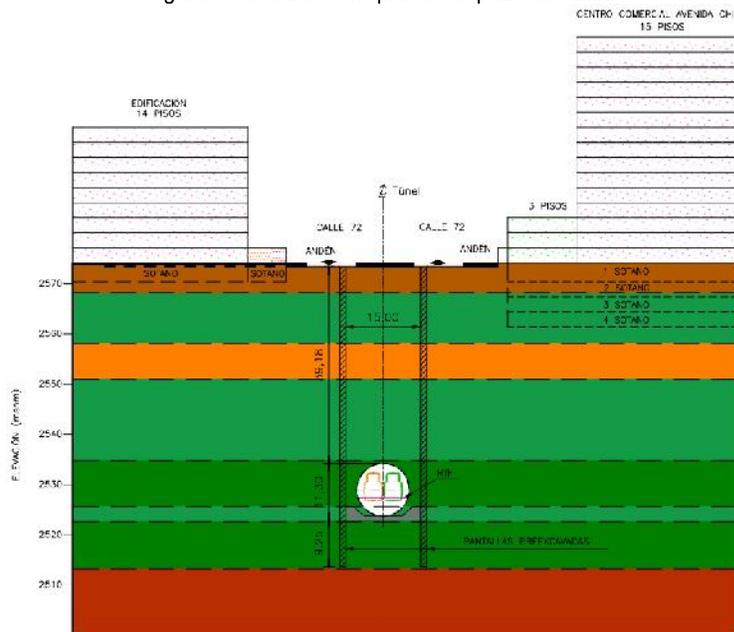


Figura 10. Sección transversal pozo de salida

2.6 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TÚNEL

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, lo que se hizo a través de tres aspectos básicos:

1. 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.

2. Lograr que la mezcla tenga la consistencia adecuada para ser transportable por el tornillo sin fin y la cinta y el vagón.
3. Lograr que la mezcla de material excavado se pueda extraer sin perder la presión en el frente para garantizar una continuidad del proceso.

Las máquinas tipo EPB fueron ideadas, como se mencionó, 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 11. 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 escombros 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 son los polímeros, agua y espumas. Por lo tanto, con los aditivos adecuados, la máquina EPB se puede utilizar en una gama muy amplia de tipos de suelo.

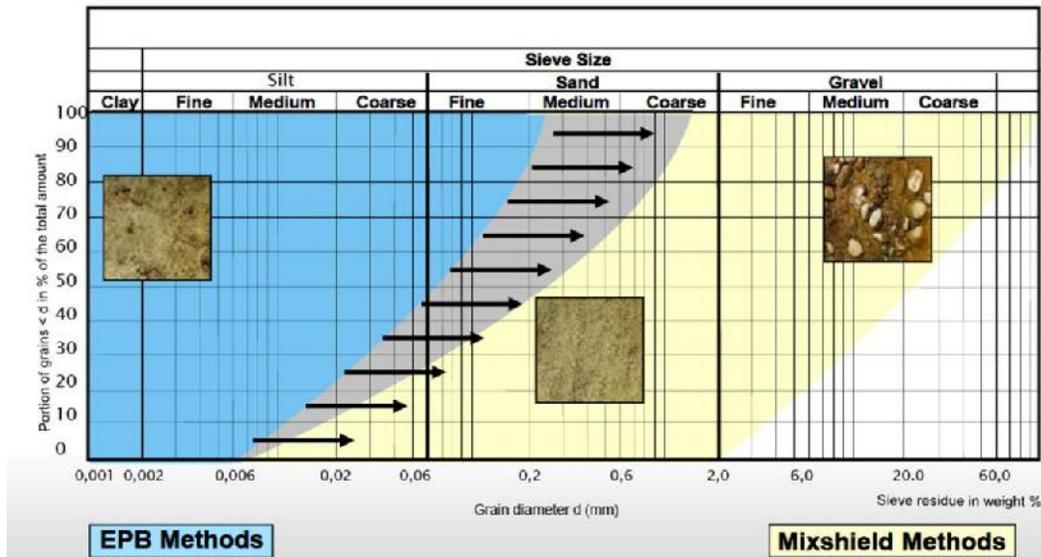


Figura 11. Granulometría de los terrenos y aplicación a los escudos EPB (Tobergte & Curtis, 2013)

2.7 FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA EPB

La máquina EPB (Earth Pressure Balance Shield), 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 12 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.

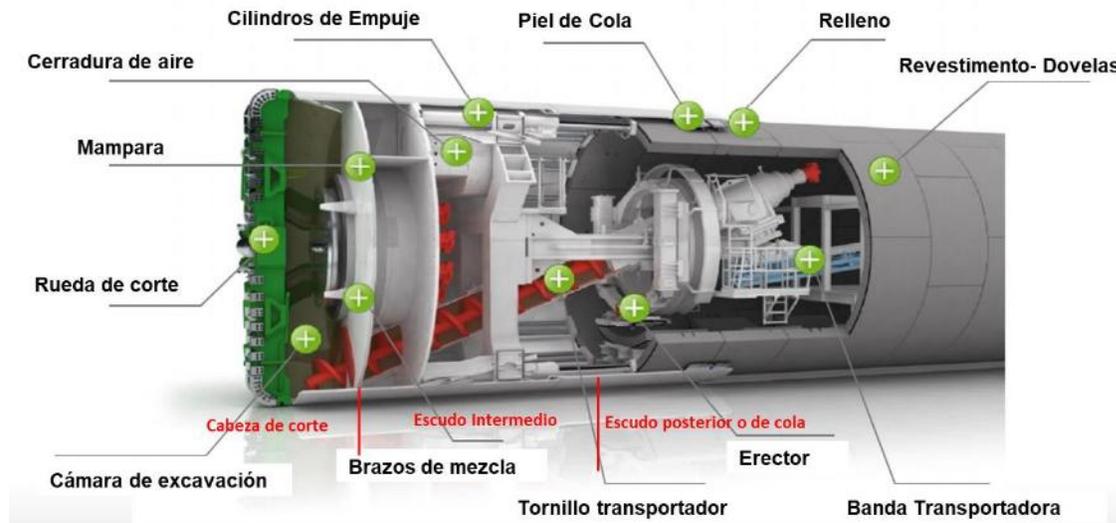


Figura 12. Principio de funcionamiento de EPB Shield
Fuente: Herrenknecht (Moreno, J.C).2016

La cabeza lleva en su cara frontal las herramientas de corte y las toberas de los productos de adición, y en su interior, o cámara de presión, los dispositivos de homogeneización y preparación del terreno excavado para su extracción en forma de masa plástica. En la cámara se dispone también 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 mamparo, 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 mamparo se monta un único tornillo sin fin 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.

Por último, 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 es 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 escudo y cola está articulada.

El funcionamiento de la máquina EPB o de equilibrio de 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 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 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. 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.

También, 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 13), 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.

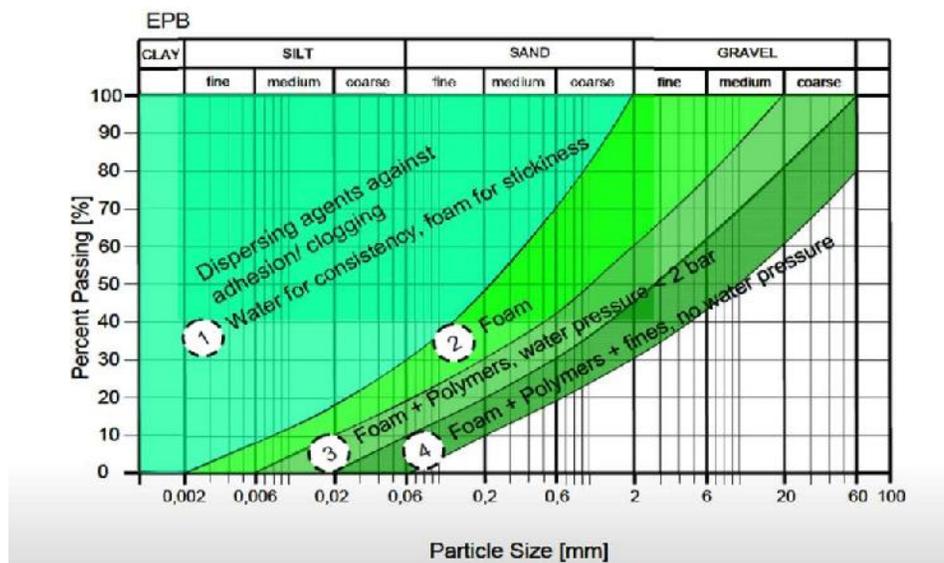


Figura 13. Rangos de aplicación de la EPB y condicionantes del terreno

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

2.8 ANÁLISIS DE SUBSIDENCIAS

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. En el presente numeral se incluye lo correspondiente a los análisis de tipo analítico.

Los asentamientos que pueden llegar a ocurrir durante el proceso de construcción del túnel se deben principalmente a tres componentes:

1. Los asentamientos a corto plazo (o inmediatos) provocados por la excavación del túnel.
2. Parte del asentamiento también puede ocurrir debido a la deformación del revestimiento del túnel.
3. Y otra parte a los asentamientos a largo plazo, debido a: (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. Comprobaciones mediante otros métodos, como, el de Taylor y Grand (2000), también se realizaron como verificación. Ambos métodos resultan con valores muy similares de la cubeta de asentamientos.

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

Como referencia, en la Figura 14 se presenta la cubeta de asentamientos para el caso bajo el paso del Humedal Juan Amarillo para una profundidad de implantación a clave del túnel de 23,45 m. Según los resultados en este análisis, el asentamiento máximo esperado puede ser del orden de 23 a 25 mm, con una distorsión angular 0,06% a 0,025% respectivamente.

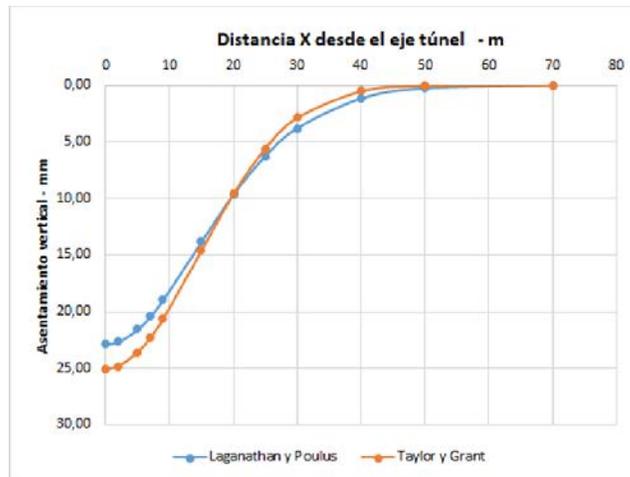
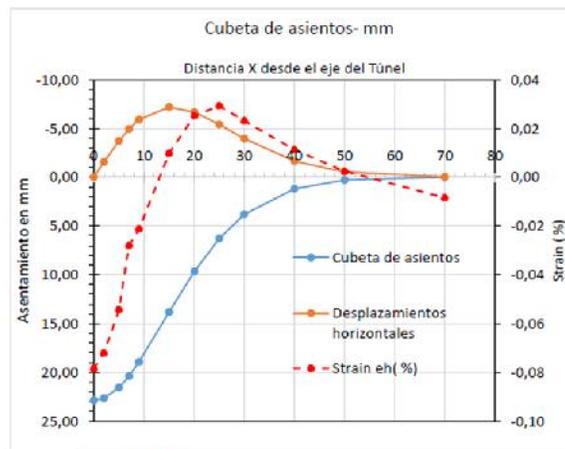


Figura 14. Comparación de cubeta de asientos entre Loganathan y Poulos versus Taylor y Grand

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 %.

Asentamientos según Loganathan y Poulos (1998)		z0 - (m)=	28,85
Distancia X	Asentamiento - mm	Desplazamiento Horizontal U- mm	Strains eh(%)
0	22,87	0,00	-0,08
2	22,65	-1,57	-0,07
5	21,56	-3,74	-0,05
7	20,39	-4,95	-0,03
9	18,95	-5,91	-0,02
15	13,82	-7,18	0,01
20	9,65	-6,69	0,03
25	6,26	-5,43	0,03
30	3,81	-3,96	0,02
40	1,19	-1,65	0,01
50	0,30	-0,52	0,00
70	0,01	-0,03	-0,01
Maximo U- mm		5,91	
Pto i inflexión		15,00	
Zo/i=		0,52	



Presión del frente -KPa	614,2
-------------------------	-------

Valor mínimo según Arioglu con Presion frente - mm	
Schmidty Arioglu(1969)	4,94

β -sagging	0,060%	0,000212128	1657	Bajo
β -hogging	0,025%	0,000085	3984	Bajo

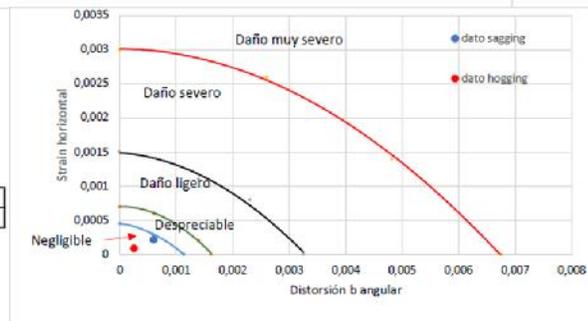


Figura 15. Análisis de subsidencias asentamientos y desplazamientos horizontales - Brazo Humedal Juan Amarillo

Los resultados de este análisis en la zona de brazo del humedal Juan Amarillo muestran que el asentamiento máximo esperado para la profundidad de implantación mencionada puede ser del orden de 23 mm, con una distorsión angular en la zona de sagging de 0,06% y en el hogging de 0,025% 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 15).

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. **El tipo de soporte estará conformado por dovelas prefabricadas de concreto reforzado que se colocan inmediatamente con el 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, 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. Además, es importante aclarar que los bicomponentes que se utilizan para acondicionar el material de suelo y garantizar la presión del frente algunos proveedores garantizan bajo normas que estos elementos no tengan 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 la 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 6 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 analíticos de subsidencia muestra baja afectación a lo largo del corredor de la L2MB, se resaltan al menos 9 sitios particulares que fueron considerados de importancia debido a la presencia de estructuras o cuerpos de agua o tuberías de la Empresa de Acueducto de Bogotá, que requieren de pretratamientos con miras a reducir asentamientos y/o desplazamientos horizontales.

Tabla 6. Resumen de estimativo de asentamientos, desplazamientos horizontales (strain en %) y ángulos de distorsión angular

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Abscisa inicial	Abscisa final	Long-m	Causa o problemática	Secciones Tipo de analisis	Profundidad a clave del túnel -m	Asentamiento maximo - mm	Beta sagging	Maxima strain sagging	Beta Hogging	Maxima strain Hogging
14400	14360	40	Daja cobertura - suelos poco competentes - mejora terreno para el sector contiguo al pozo de entrada	1	2	91,51	0,82%	0,0028	0,29%	0,00031
13370	13350	20	Cruce Canal Cafam -	2	19,82	26,16	0,08%	0,00023	0,03%	0,0001
11920	11760	160	Estacion Alo sur	3	14,42	35,29	0,11%	0,00011	0,04%	0,00015
11440	11390	50	Cruce túnel por debajo de edificaciones	4	25,07	21,65	0,05%	0,00022	0,03%	0,0000776
11280	11250	30	Cruce túnel por debajo de edificaciones	4	25,07	21,65	0,05%	0,00022	0,03%	0,0000776
11200	11140	60	Cruce túnel por debajo de edificaciones	5	22,35	23,78	0,07%	0,000193	0,03%	0,0000503
10990	10940	50	Brazo humedal Juan Amantilo	6	23,45	22,87	0,06%	0,00021	0,03%	0,000085
10460	10120	340	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos	7	25,62	21,27	0,05%	0,00022	0,03%	0,000075
10120	10020	100	Estación humedal y Juan amarillo- edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos	8	26,97	20,38	0,05%	0,00023	0,02%	0,0000704
8940	8920	20	Suelos blandos	9	17,43	28,9	0,10%	0,0000688	0,03%	0,00012
8940	8920	20	Canal Salitre - Suelos blandos	10	13,38	35,13	0,13%	0,0002	0,04%	0,00016
8720	8690	30	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	11	21,31	24,7	0,07%	0,00018	0,03%	0,0000959
8630	7940	750	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	12	20,8	25,18	0,08%	0,000173	0,03%	0,0000985
7940	7660	280	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	13	26,31	20,18	0,05%	0,00023	0,03%	0,000072
7610	7580	30	Paso Av. CI80	13	26,31	20,18	0,05%	0,00023	0,03%	0,000072
7580	7100	480	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	14	20,4	25,57	0,08%	0,00016	0,03%	0,0001
7100	6240	860	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	15	25,75	21,18	0,05%	0,00022	0,03%	0,0000749
6240	5320	920	Suelos blandos - paso por debajo de la tubería de 72" de Tibitoc- Av. Boyaca	16	24,39	22,16	0,06%	0,00022	0,03%	0,0000805
5320	5290	30	Suelos blandos	17	23,88	22,53	0,06%	0,00021	0,03%	0,0000827
5210	4680	530	Suelos blandos	18	30,62	18,37	0,04%	0,00023	0,02%	0,0000827
4680	4300	380	blandos	19	25,45	21,39	0,06%	0,00022	0,02%	0,0000922
4100	3900	200	av CRA 68- Puente- Suelos blandos	20	15,39	31,74	0,10%	0,000043	0,04%	0,00014
3900	3100	800	suelos blandos	21	20,15	25,82	0,08%	0,00015	0,03%	0,00011
3120	2800	320	Suelos blandos	22	33,25	17,07	0,04%	0,00022	0,02%	0,000078
2800	2500	300	blandos	23	30,52	18,37	0,04%	0,00023	0,02%	0,000079
2500	2450	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	24	20,17	25,8	0,08%	0,000159	0,03%	0,00011649
2450	2400	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	25	21,39	24,63	0,07%	0,00018	0,03%	0,00011
2400	2220	180	Suelos blandos	26	22,95	23,27	0,06%	0,0002	0,03%	0,0001
2220	2100	120	Suelos blandos	27	22,90	23,31	0,06%	0,00011	0,03%	0,000105
2220	2100	120	Av. NQS- Suelos blandos - canal	28	24,00	22,4	0,06%	0,00021	0,03%	0,0001
2100	1590	510	Suelos blandos	29	26,16	20,91	0,05%	0,000279	0,03%	0,000093
1590	760	830	Suelos blandos	30	27,24	20,21	0,05%	0,00023	0,02%	0,000089
760	600	160	Estacion 1- Edificaciones -suelos blandos	31	23,76	22,63	0,06%	0,000215	0,03%	0,000101
760	600	160	Estacion 1- Edificaciones -suelos blandos	32	24,42	22,13	0,06%	0,00022	0,03%	0,0000992
600	500	100	Deprimido Abajo Av. Ceracas-	33	24,53	22,04	0,06%	0,00022	0,03%	0,000098
500	460	40	Deprimido doble - Arriba Av. Ceracas	34	27,33	20,16	0,05%	0,00023	0,02%	0,0000878
460	300	160	Av. Calle 72 - Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	35	30,97	18,14	0,04%	0,00023	0,02%	0,0000819
300	0	300	Pozo de salida- Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	36	36,95	15,58	0,03%	0,00021	0,02%	0,0000725

2.9 TRATAMIENTOS DEL TERRENO

En algunos sitios particulares del corredor del Metro se requerirá realizar tratamientos del terreno con el fin de reducir tanto los asentamientos en superficie como los problemas de estabilidad del túnel.

Los sitios donde se realizarán estos tratamientos son los siguientes:

- 1) Tratamientos del terreno en los lugares de entrada/salida de la máquina tuneladora.
- 2) Tratamientos del terreno durante el avance de la excavación del túnel.
- 3) Soporte temporal durante la excavación del túnel.

- El primer tipo de tratamiento corresponde a sitios ubicados en la entrada/salida de la tuneladora, de pozos de ataque, pasos de estaciones en vacío, y pozos de evacuación y bombeo. Su finalidad será evitar la entrada de suelo/agua en la estación/pozo al comienzo o finalización de la perforación de la tuneladora.

- El segundo tipo de tratamientos se refiere a los tratamientos necesarios en ciertos tramos de túnel para reducir las deformaciones y evitar daños en edificios y estructuras.
- El tercer tipo se refiere a los tratamientos necesarios para garantizar la estabilidad de la excavación durante la construcción del túnel.

A continuación se describen los tipos de tratamientos del terreno que fueron considerados:

Tabla 7. Tratamientos tipo para mejoramiento del terreno.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN TRATAMIENTO	ESQUEMA TIPO
A	Jet Grouting- Tipo tienda Canadiense	Asegurar la estabilidad sobre la clave del túnel y reducir los asentamientos generados en superficie	Figura 16
B	Inyecciones de fracturación- Tipo Tienda Canadiense		Figura 17
C	Taladros cortos de inyección de mortero		Figura 18
D	Barreras de columnas de Jet Grouting	Reducir las subsidencias en la zona de influencia de los edificios con riesgo de daño moderado (de manera que su riesgo de daño se reduzca hasta valores aceptables).	Figura 19
E	Barreras de pilotes de mortero		Figura 19
F	Barrera de micropilotes (encamisado)		Figura 20
G	Barrera de micropilotes (prefabricados)		Figura 20

En las siguientes figuras se presentan los esquemas de los tratamientos tipo para el mejoramiento del terreno:

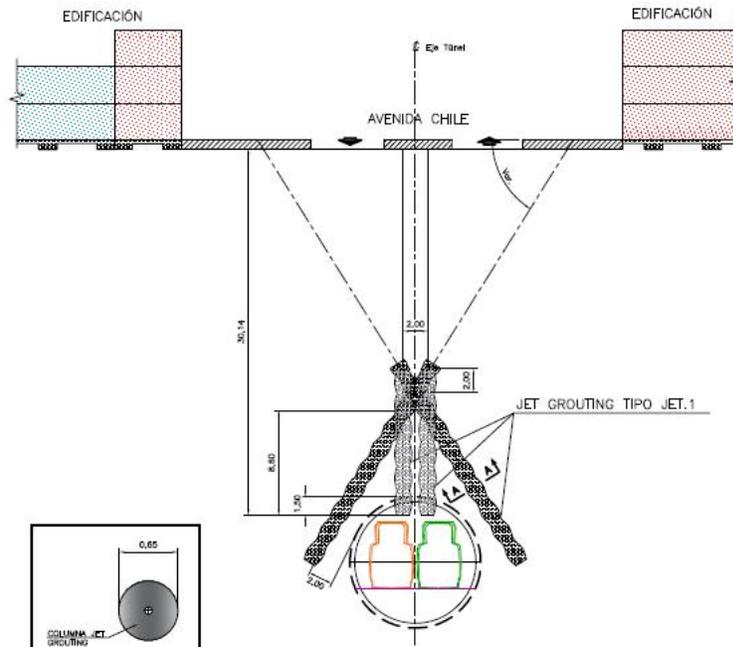


Figura 16. Tratamiento A: Mejoramiento del terreno con Jet Grouting.

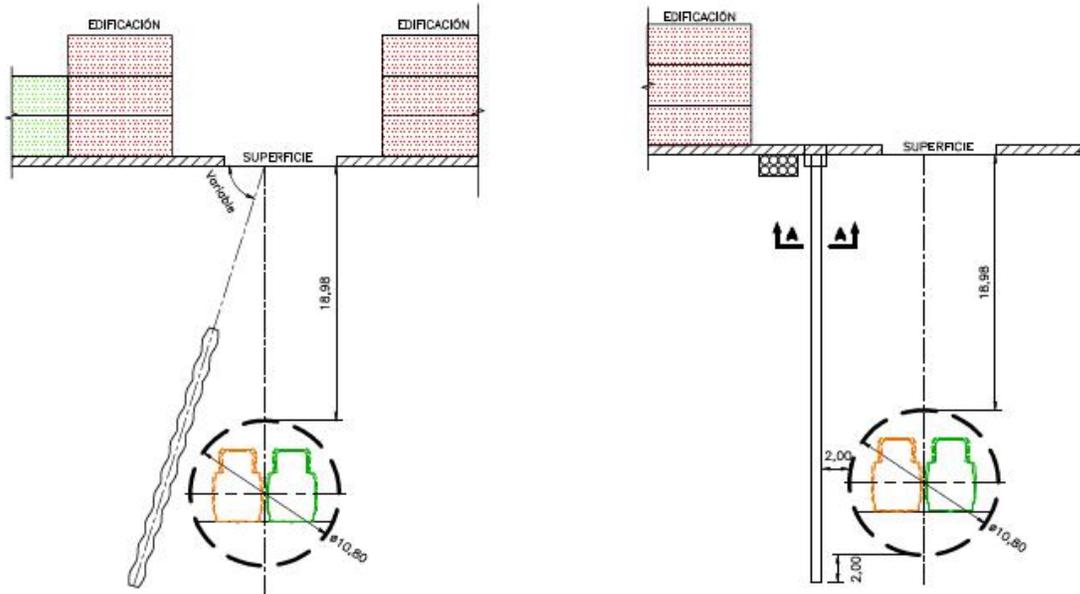


Figura 19. (Izquierda) Tratamiento D: Barreras de columnas de Jet Grouting. (Derecha) Tratamiento E: Barreras de pilotes de mortero.

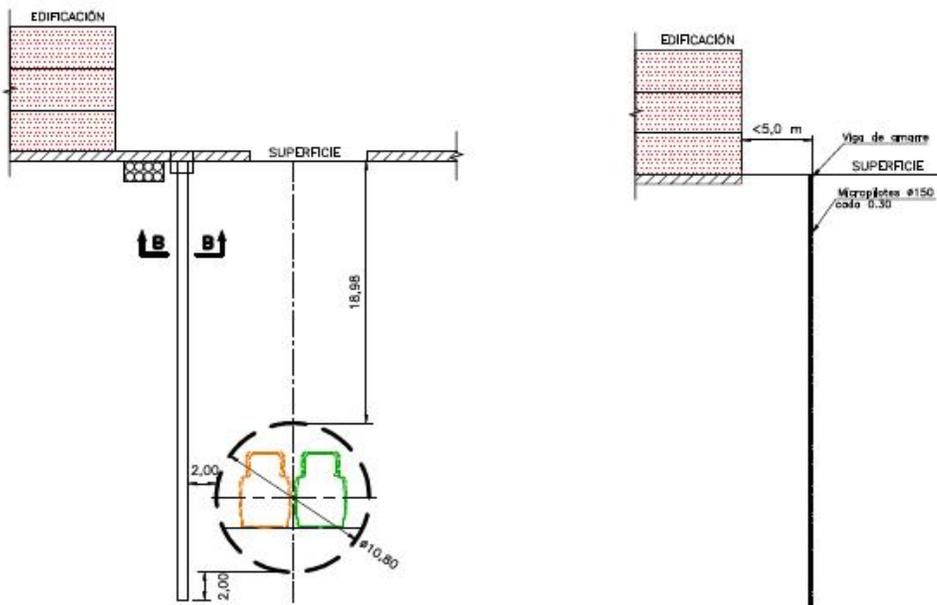


Figura 20. (Izquierda) Tratamiento F: Barreras de micropilotes - encamisado acero. (Derecha) Tratamiento G: Barreras de micropilotes - prefabricados.

Con base en el análisis de subsidencias, y con el fin de reducir aún más los posibles asentamientos en superficie, se previó a lo largo del trazado, y en algunos sitios críticos, la ejecución de tratamientos esquematizados en las figuras anteriores, en los tramos que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Tratamientos previstos a lo largo de la L2MB

Abscisa inicial	Abscisa final	Long-m	Causa o problemática	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C	Tratamiento D	Tratamiento E	Tratamiento F	Tratamiento G
				Col. Jet Grouting 1	Col. Jet Grouting 2	Taladros cortos de inyección	Barrera de columna de jet grouting	Barrera de pilotes de mortero	Barrera de micropilotes	Barrera de micropilotes
14400	14360	40	Baja cobertura - suelos poco competentes - mejora terreno para el sector contiguo al pozo de entrada	50				50		
13370	13350	20	Cruce Canal Cañam -	20				20		
11920	11760	160	Estacion Alo sur							
11440	11390	50	Cruce túnel por debajo de edificaciones							
11280	11250	30	Cruce túnel por debajo de edificaciones							
11200	11140	60	Cruce túnel por debajo de edificaciones							
10990	10940	50	Brezo humedal Juan Amarillo							
10460	10120	340	Estación humedal y Juan amarillo - edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos					160		
10120	10020	100	Estación humedal y Juan amarillo - edificaciones costado izquierdo - Suelos blandos					60		
8940	8920	20	Suelos blandos							
8940	8920	20	Canal Salitre - Suelos blandos	100		20				
8720	8690	30	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos					30		
8690	7940	750	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos				560			
7940	7660	280	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos	100						
7610	7580	30	Paso Av. ClIBO					30		
7580	7100	480	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos							
7100	6240	860	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos							
6240	5320	920	Edificaciones- paso túnel por debajo- suelos blandos							
5320	5290	30	Suelos blandos - paso por debajo de la tubería de 72" de Tibitoc- Av. Boyaca	30				30		
5210	4680	530	72" de Tibitoc- Av. Boyaca							
4680	4300	380	blandos					120		
4100	3900	200	av. CRA 68- Puente- Suelos blandos				120	240		
3900	3100	800	suelos blandos	20			340			
3120	2800	320	Suelos blandos				320			
2800	2500	300	blandos							
2500	2450	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos	80		40				
2450	2400	50	Zona Canal Arzobispo- suelos blandos							
2400	2220	180	Suelos blandos							
2220	2100	120	Suelos blandos							
2220	2100	120	Av. NQS- Suelos blandos - canal	120		60				
2100	1590	510	Suelos blandos							
1590	760	830	Suelos blandos							
760	600	160	Estacion 1- Edificaciones - suelos blandos							
760	600	160	Estacion 1- Edificaciones - suelos blandos							
600	500	100	Deprimido Abajo Av. Caracas-	100				200		
500	460	40	Deprimido doble - Arriba Av. Caracas	160				320		
460	300	160	Av. Calle 72 - Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	160				320		
300	0	300	Pozo de salida- Edificaciones altas costados derecho e izquierdo	300				600		
				1240	0	120	1340	2180	0	0

2.9 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Durante el proceso de construcción del túnel y las estaciones, y posteriormente durante la etapa de operación de la L2MB, se dispondrá de una serie de instrumentos que permitirán controlar el comportamiento de estas obras, así como los desplazamientos en superficie.

El sistema de auscultación previsto controlará los elementos de las obras, niveles freáticos, desplazamientos del entorno de las excavaciones, lectura de los datos, análisis de datos e interpretación de los mismos. Los elementos por controlar son los siguientes:

- Para la excavación del túnel se medirán las convergencias y divergencias que puedan manifestarse durante el proceso constructivo.

- En relación con el comportamiento de las obras, tanto en pantallas (túnel entre pantallas) y dovelas (tuneladora), se comprobarán los esfuerzos a los que estarán sometidas por los desplazamientos inducidos por los empujes del terreno.
- Los desplazamientos del terreno se controlarán con la medición de movimientos en el mismo, tanto horizontales como verticales, y tanto en superficie como en profundidad.
- Los niveles freáticos se controlarán durante el procedimiento constructivo de las excavaciones.
- Para las estructuras y/o edificaciones existentes, durante los procesos de excavación del túnel, pozos o estaciones, se considera esencial el control de eventuales movimientos inducidos en los elementos existentes en la zona de influencia de las excavaciones, principalmente edificaciones, vías urbanas y férreas, y estructuras subterráneas (redes y otros). Los parámetros de medición serán los movimientos horizontales y verticales, giros, y seguimiento de fisuras y/o grietas (nuevas o existentes).

Los instrumentos que se utilizarán para la medición y control serán los siguientes:

- Cinta extensométrica, o bien dianas reflectantes y estación total.
- Celdas de presión instaladas en dovelas para medir empujes del terreno
- Extensómetros de cuerda vibrante para conocer las tensiones de trabajo en el interior de los elementos estructurales
- Inclinómetros en pantallas y en el terreno
- Se realizará un inventario de los edificios que puedan resultar afectados por las excavaciones, revisando en especial las fisuras y grietas existentes en los mismos. Este control también se realizará en redes de servicios públicos.
- Puntos de control topográfico en el piso y en edificaciones vecinas
- Escalas graduadas de nivelación en fachadas y muros de edificios
- Piezómetros de hilo vibrátil
- Piezómetros de tubo abierto tipo casagrande
- Extensómetros de posición múltiple o de varilla
- Mojones de referencia
- Equipos de medición

En la Figura 21 se presenta una planta tipo de instrumentación requerida para el túnel y en la Figura 22 se detalla una sección tipo de instrumentación transversal al eje del túnel, donde se muestran extensómetros de varilla, piezómetros de tubo abierto (casagrande), piezómetros de hilo vibrátil, extensómetros incrementales, inclinómetros, puntos de control topográfico en superficie, puntos de medición de convergencias, celdas de presión (dovelas) y extensómetros de hilo vibrátil.

Lo relacionado con instrumentación en estaciones se presenta en el numeral 4.3.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

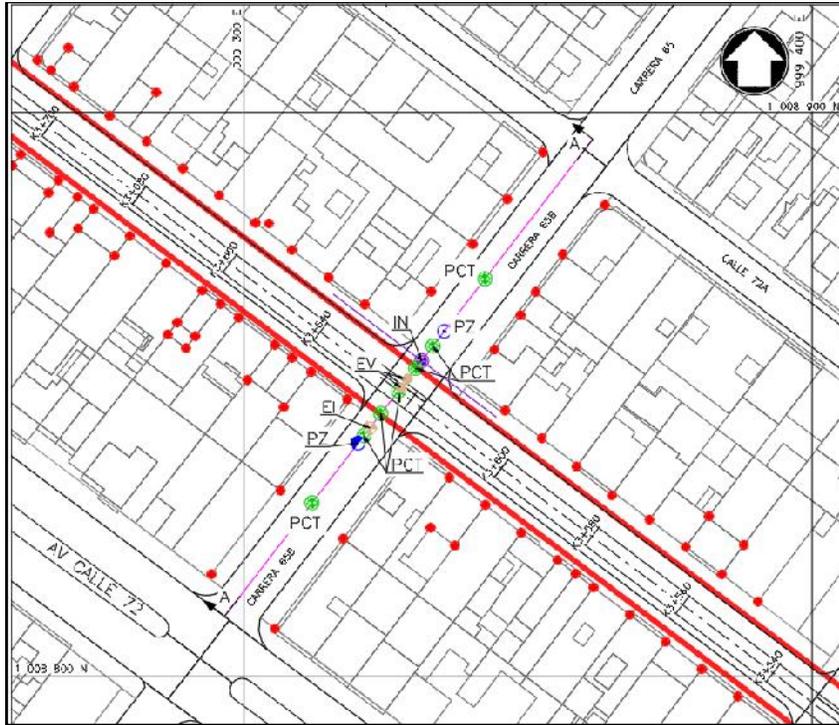


Figura 21. Planta tipo de instrumentación requerida para el túnel

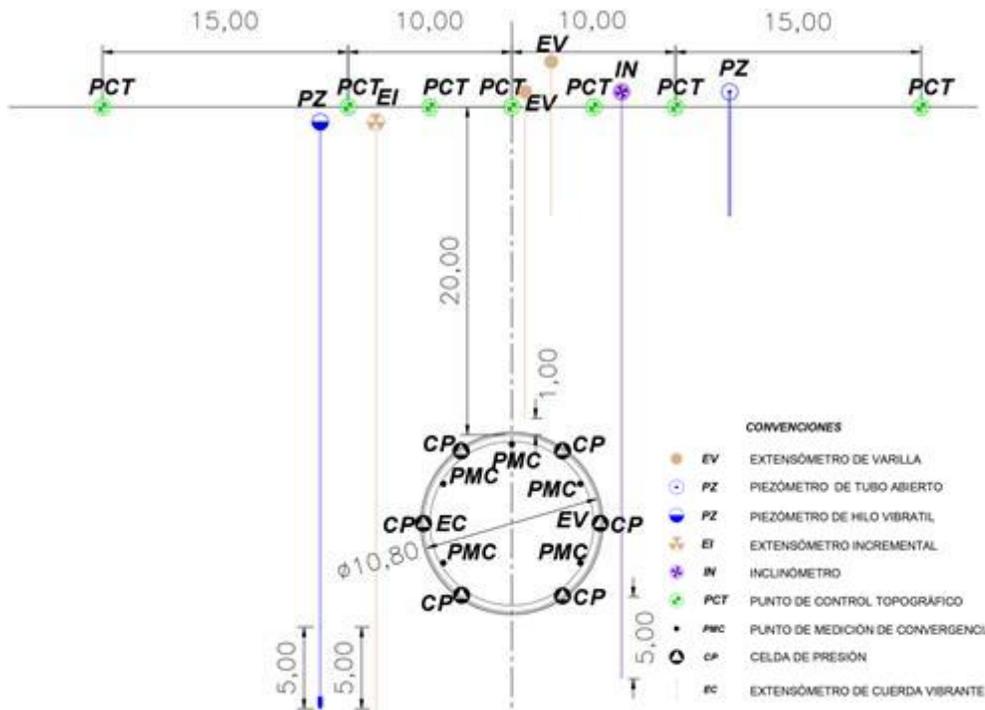


Figura 22. Sección tipo de instrumentación del túnel

3. VIADUCTO

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.8.2 (Estructuras elevadas - Informe)
- Carpeta 10.8.2 (Estructuras elevadas - Anexos)

Para el tramo elevado en el segmento final del trazado de la L2MB se construirá un viaducto de 1005 m con sección transversal tipo Gran U apoyado en pilas de sección circular. Las dimensiones del mismo serán las siguientes:

- Ancho total: 10,18 m.
- Longitud total: 1005 m.
- Altura total máxima: 9,25 m.

La conformación estructural del viaducto será la siguiente:

- En primer lugar, dispondrá de una rampa de 3%, que sale del pozo de entrada al túnel. Este tramo tiene, en términos de geometría en planta, una curva con radio de curvatura de 750 m.
- En segundo lugar, de un tramo recto con altura constante de aproximadamente 10 m. En este tramo, que en total tiene 728 m, se encuentra la Estación 11-Fontanar.

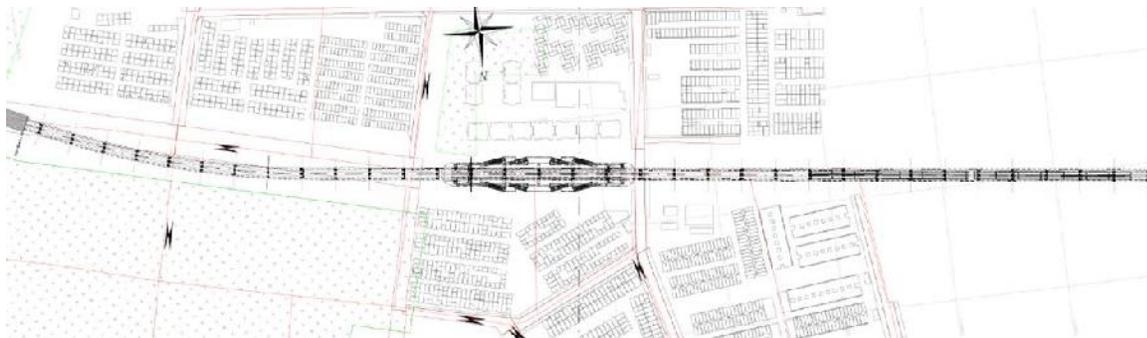


Figura 23. Planta del viaducto elevado y planteamiento de pilas.

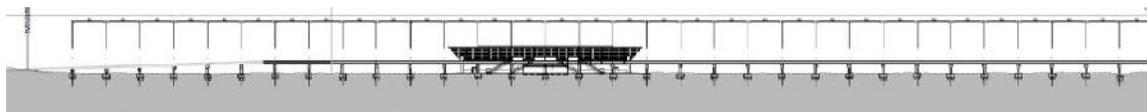


Figura 24. Perfil longitudinal del viaducto elevado.

3.1 TABLERO

La sección del tablero Gran U (que mantiene la misma tipología de proyecto de PLMB), consiste en un tablero formado por una única viga con forma de "U", con un ancho entre las almas laterales capaz de alojar las dos vías del Metro. La sección transversal integrará la totalidad de componentes del sistema ferroviario en su interior, como se muestra en la siguiente figura.

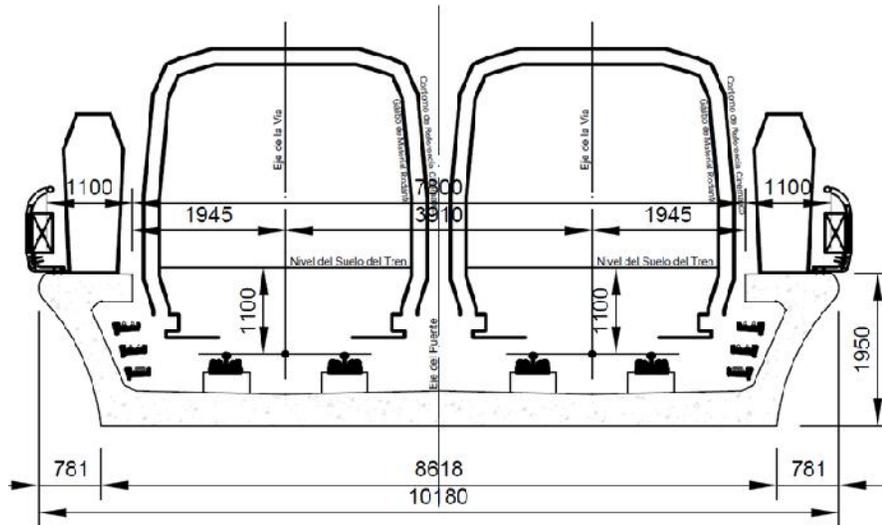


Figura 25. Sección de tablero tipo Gran U.

En estas otras figuras se muestra una vista en planta de una sección del viaducto elevado, que se puede describir como una sucesión de vanos isostáticos simplemente apoyados sobre pilas, con luces de 30 m.

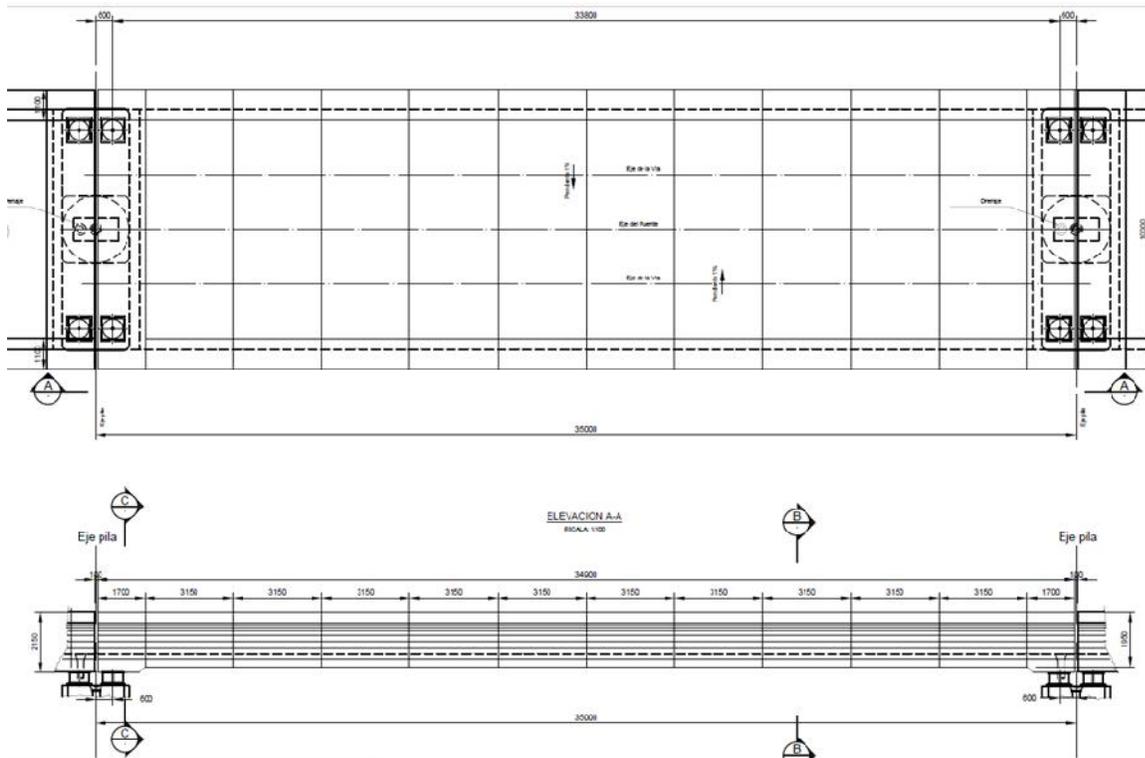


Figura 26. Tramo tipo viaducto elevado vista en planta y elevación

3.2 PILAS

Las pilas de sección circular usadas para soportar el tablero acabarán en un capitel de aproximadamente el mismo ancho que la base de la sección gran-U de apoyo del tablero. En la siguiente figura se muestra un esquema de esta configuración.

Dada la magnitud de las fuerzas transmitidas a la subestructura y la naturaleza de los suelos de Bogotá, la fundación de estas pilas será profunda.

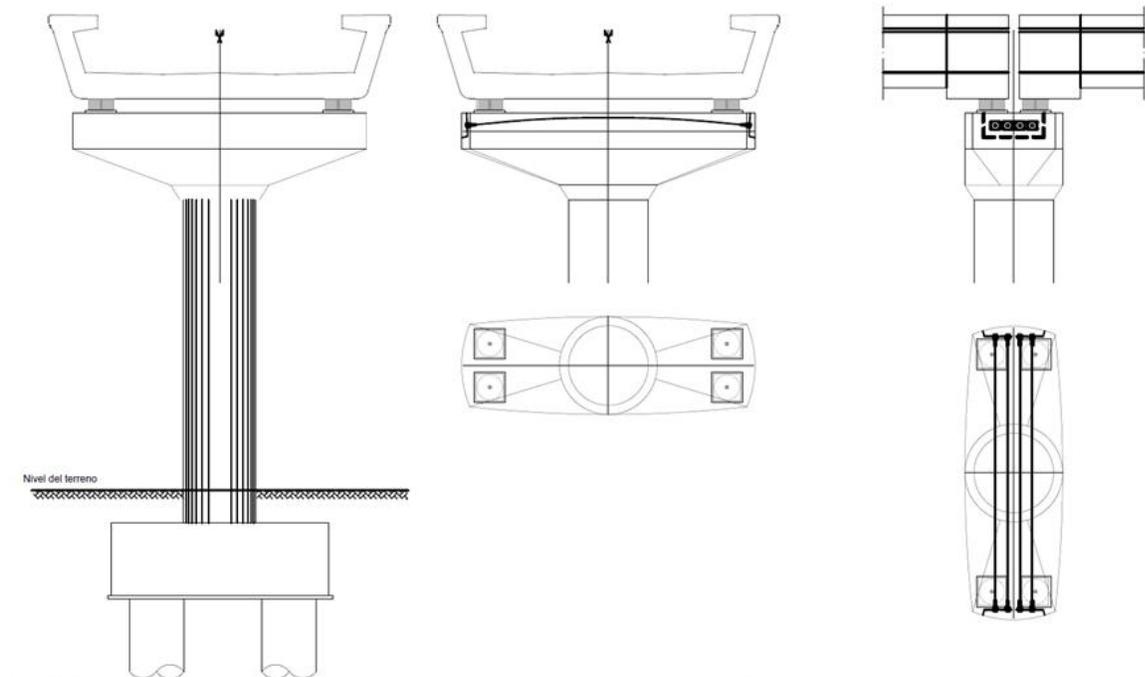


Figura 27. Capitel de pila típico.

4. ESTACIONES SUBTERRÁNEAS

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.19.1 (Estaciones y Edificios - Características funcionales - Informe)
- Documento 10.19.2 (Estaciones y Edificios - Geotecnia - Informe)
- Documento 10.19.3 (Estaciones y Edificios - Arquitectura - Informe)
- Documento 10.19.4 (Estaciones y Edificios - Redes - Drenajes - Informe)
- Documento 10.19.5 (Estaciones y Edificios - Mecánica - Informe)
- Documento 10.19.6 (Estaciones y Edificios - Eléctrica - Informe)
- Documento 10.19.7 (Estaciones y Edificios - Telecomunicaciones - Informe)
- Documento 10.19.8 (Estaciones y Edificios - Gestión de humo / Lucha contra incendios - Informe)
- Carpeta 10.19.1 (Estaciones y Edificios - Características funcionales - Anexos)
- Carpeta 10.19.2 (Estaciones y Edificios - Geotecnia - Anexos)
- Carpeta 10.19.4 (Estaciones y Edificios - Redes - Drenajes - Anexos)
- Carpeta 10.19.5 (Estaciones y Edificios - Mecánica / Bombeos - Anexos)
- Carpeta 10.19.5 (Estaciones y Edificios - Mecánica / Ventilación - Anexos)
- Carpeta 10.19.6 (Estaciones y Edificios - Eléctrica - Anexos)

El tramo subterráneo de la L2MB está comprendido entre la Calle 72 con Carrera 10, en donde se localiza el K0+000 del trazado y el K14+280, en donde se ubica el pozo de entrada para 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 30,0 a 32,0 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 hasta la estación elevada 11 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.

Para la L2MB se han previsto dos tipologías de estaciones subterráneas, una para la estación 1, Av. Caracas y otra para las nueve estaciones restantes. La estación 1 tendrá una longitud interior de 160 m y un ancho interior de 31,8 m. En esta estación se han previsto dos filas de columnas interiores a lo largo de la estación localizadas a 4,90 m de las pantallas externas, dejando una distancia interior entre columnas de 22,0 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 siguiente tabla se presentan las principales características geométricas de las estaciones subterráneas.

Tabla 9. 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	CI 72 x Av. Caracas	K0+685,0	K0+845,0	2526,88	-30,74	31,8	160,0
2	CI 72 x NQS	K2+189,5	K2+349,5	2516,03	-30,81	23,20	160,0
3	CI 72 x Cr 68	K3+960,0	K4+120,0	2516,40	-31,06	23,20	160,0
4	CI 72 x Av. Boyacá	K5+415,0	K5+575,0	2520,80	-30,77	23,20	160,0
5	CI 72 x Carrera 80	K6+330,0	K6+490,0	2520,77	-30,51	23,20	160,0
6	Av. Cali x CI 80	K7+432,0	K7+592,0	2521,25	-30,44	23,20	160,0
7	Av. Cali x CI 90	K8+670,0	K8+830,0	2518,25	-31,58	23,20	160,0
8	Av. Cali x Cr 93	K10+250,0	K10+410,0	2516,39	-31,82	23,20	160,0
9	ALO x CI 129	K11+840,0	K12+000,0	2520,03	-30,84	23,20	160,0
10	ALO x CI 139	K13+210	K13+370,0	2519,90	-31,13	23,20	160,0

Las estaciones 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 ésta adquiere la resistencia suficiente, puede habilitarse la 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 1,0 a 2,0 m de espesor. En el interior de la estación se han previsto tres mezzanines intermedios y una losa de fondo curvo para alojar la línea férrea. En la Figura 28 y Figura 29 se presenta la planta y la sección transversal de la estación 1. De igual manera en la Figura 31 y Figura 32 se presenta la tipología en planta y perfil de las estaciones 2 a 10.

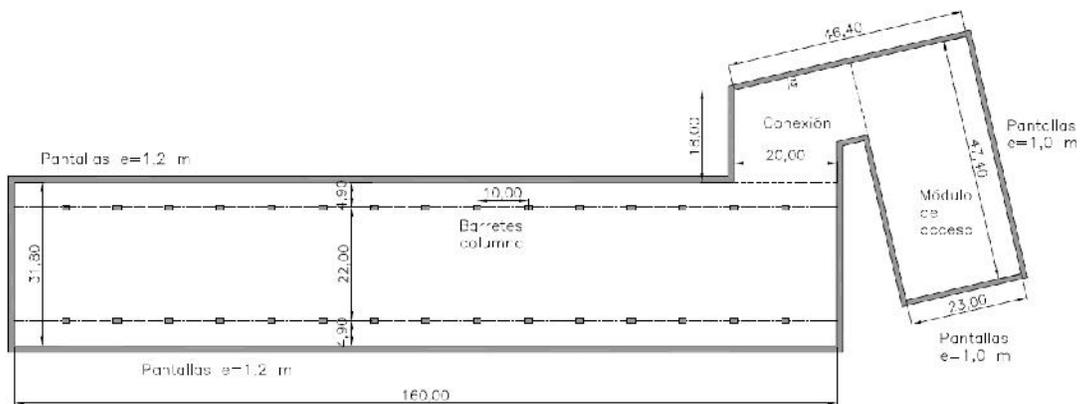


Figura 28. Planta en superficie estación 1

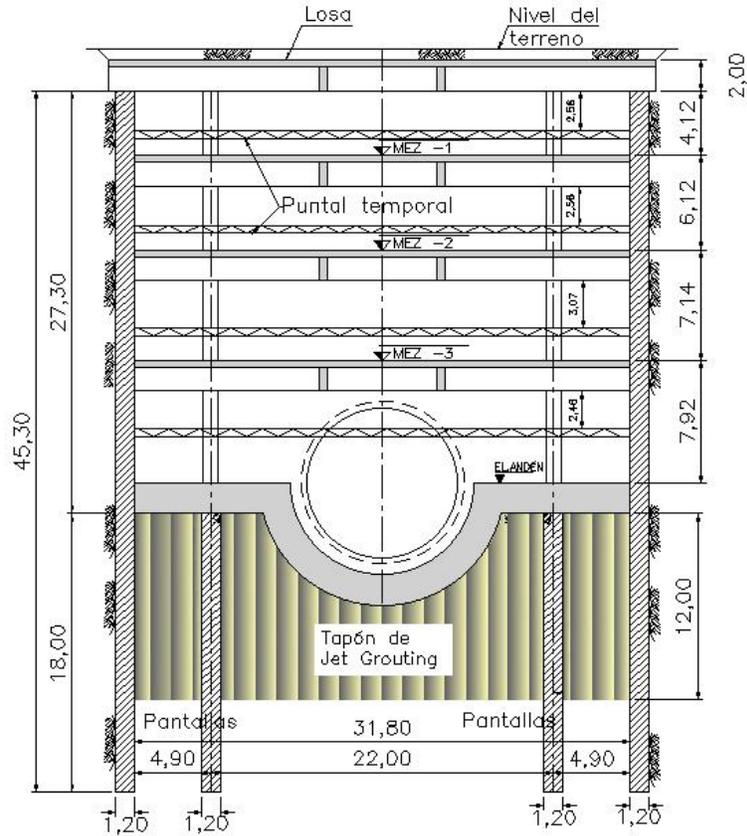


Figura 29. Sección transversal de la estación 1

El módulo de acceso a la estación 1, llega al nivel del primer mezzanine. Este acceso también se construirá con pantallas preexcavadas. En la Figura 30 se muestra la sección transversal típica del módulo de acceso a la estación 1. En las estaciones restantes los accesos se habilitan desde la tapa de la estación correspondiente.

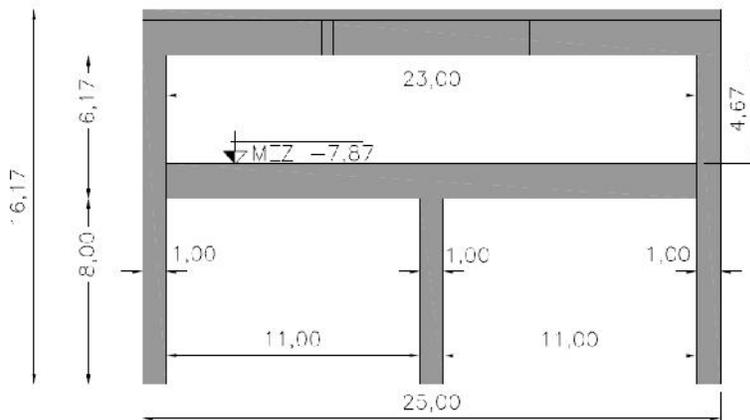


Figura 30. Sección transversal módulo de acceso estación 1

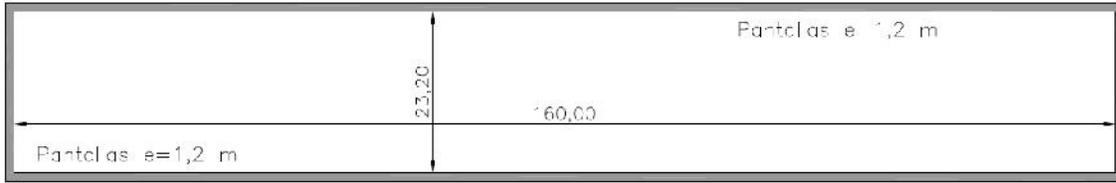


Figura 31. Planta típica estaciones 2 a 10

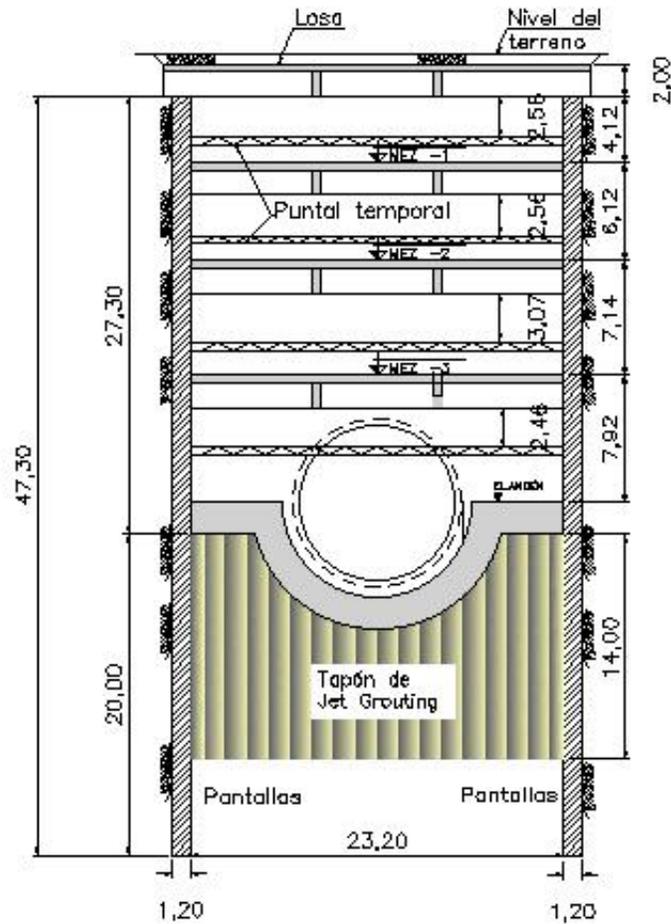


Figura 32. Sección transversal típica de las estaciones 2 a 10

4.1 MÉTODO CONSTRUCTIVO

Para la construcción de las estaciones subterráneas se ha previsto el uso del sistema Cut & Cover método invertido, usual en este tipo de edificación. Éste 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 33.

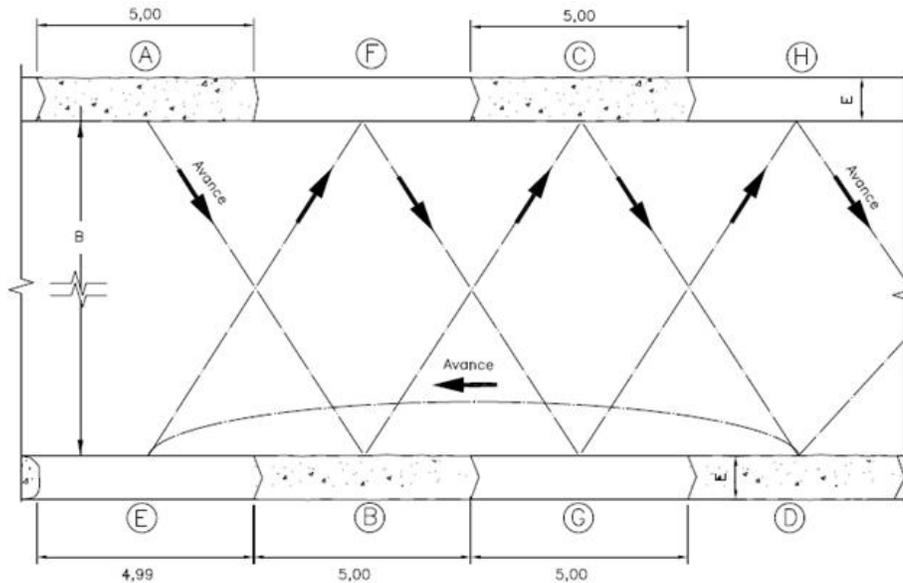


Figura 33. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (planta)

- 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 dejan formaletas para juntas temporales machihembradas (Figura 34).

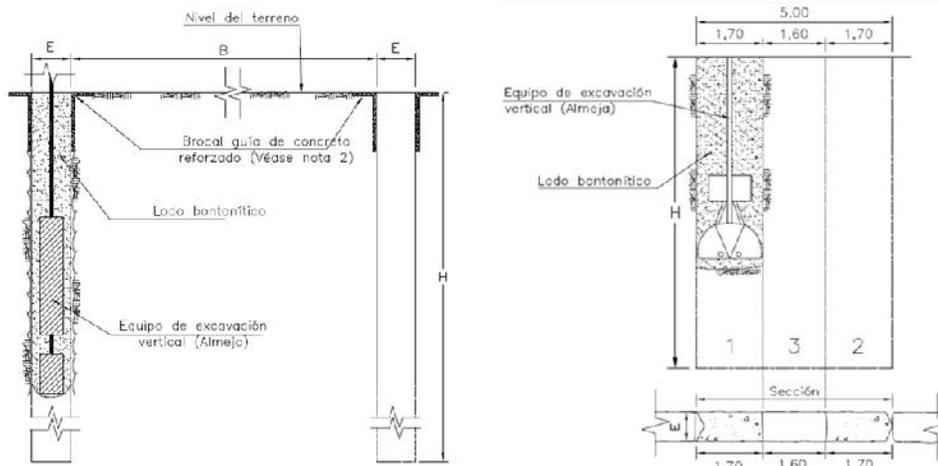


Figura 34. Secuencia de construcción de las pantallas preexcavadas (cortes)

- 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 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 35 se aprecia un esquema de excavación del sistema constructivo Cut & Cover, método invertido (top down).

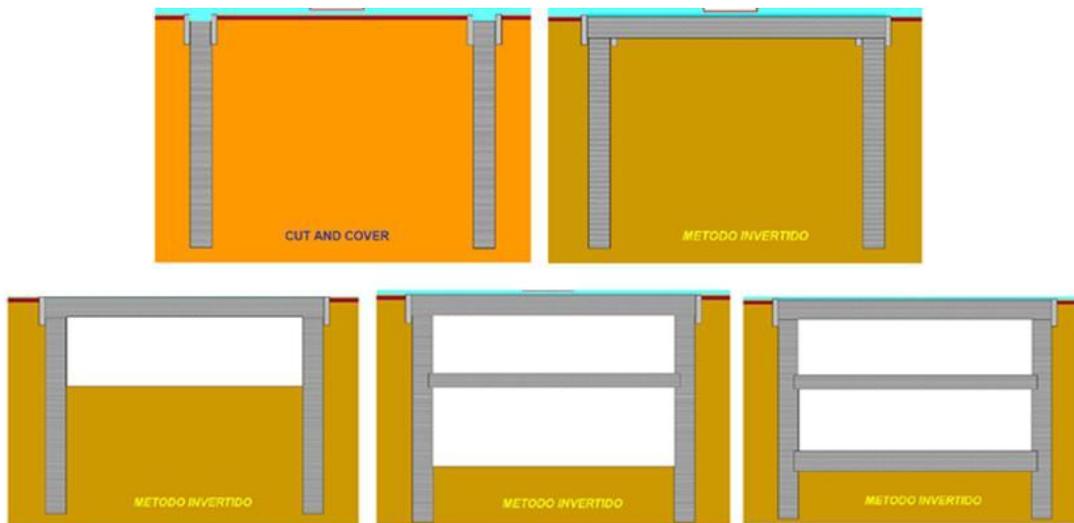


Figura 35. Excavación de pantalla preexcavadas (Cut & Cover. Método invertido)

4.2 TRATAMIENTOS ESPECIALES

En algunas estaciones las pantallas preexcavadas tienen presencia cercana de pilas de puentes vehiculares adyacentes (Tabla 10). Las verificaciones de desplazamientos en zonas aledañas a las estaciones se realizan con modelación numérica. De acuerdo con los resultados, en estos casos podría requerirse el uso de tratamientos especiales del terreno para reducir posibles desplazamientos de estas estructuras. 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 consistirían en el mejoramiento del suelo con columnas de *jet grouting* o la construcción de barreras longitudinales de micropilotes (Figura 36). 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 10. Localización de principales obras existentes con respecto a las pantallas de las estaciones

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

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

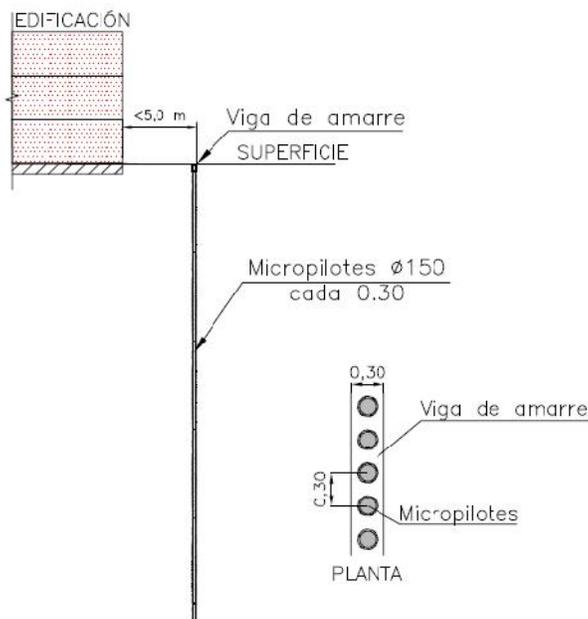


Figura 36. Barreras longitudinales de micropilotes

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 previsto a los lados de las culatas de los muros pantalla la construcción de un muro de concreto pobre de mortero (Figura 37), así como la perforación de sombrillas de enfilajes o micropilotes.

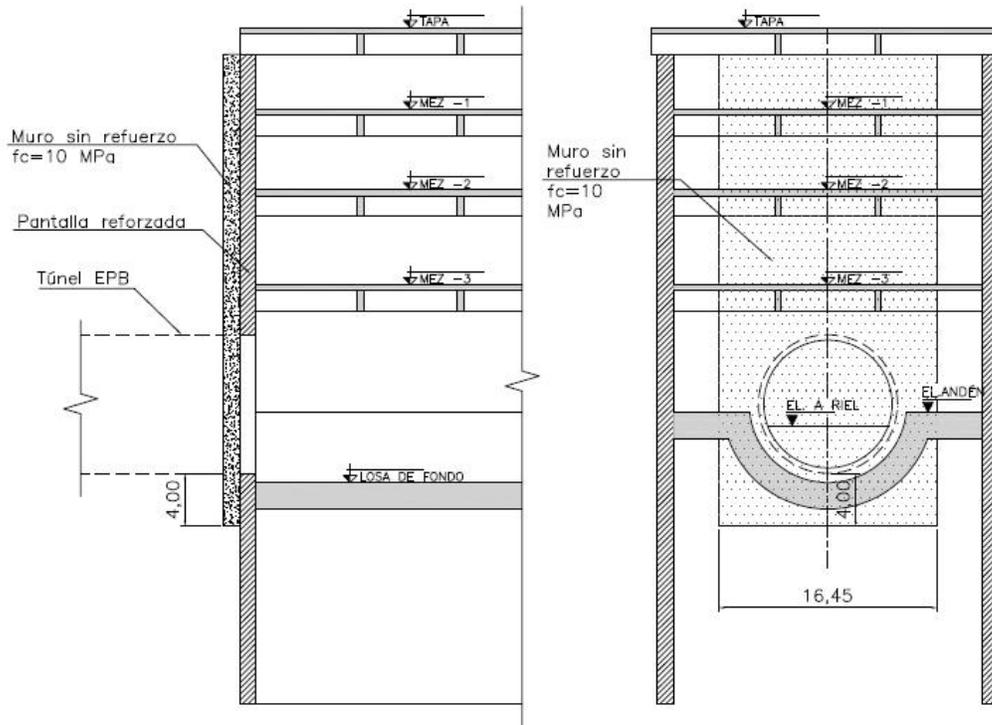


Figura 37. Muro a las entradas y salida de las estaciones (perfil y sección)

4.3 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 el 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 verificar 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.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Para controlar racionalmente la colocación de los elementos que apuntalan temporalmente los muros preexcavados, en estos se instalarán 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 38 se muestra la sección transversal de una estación típica de instrumentación.

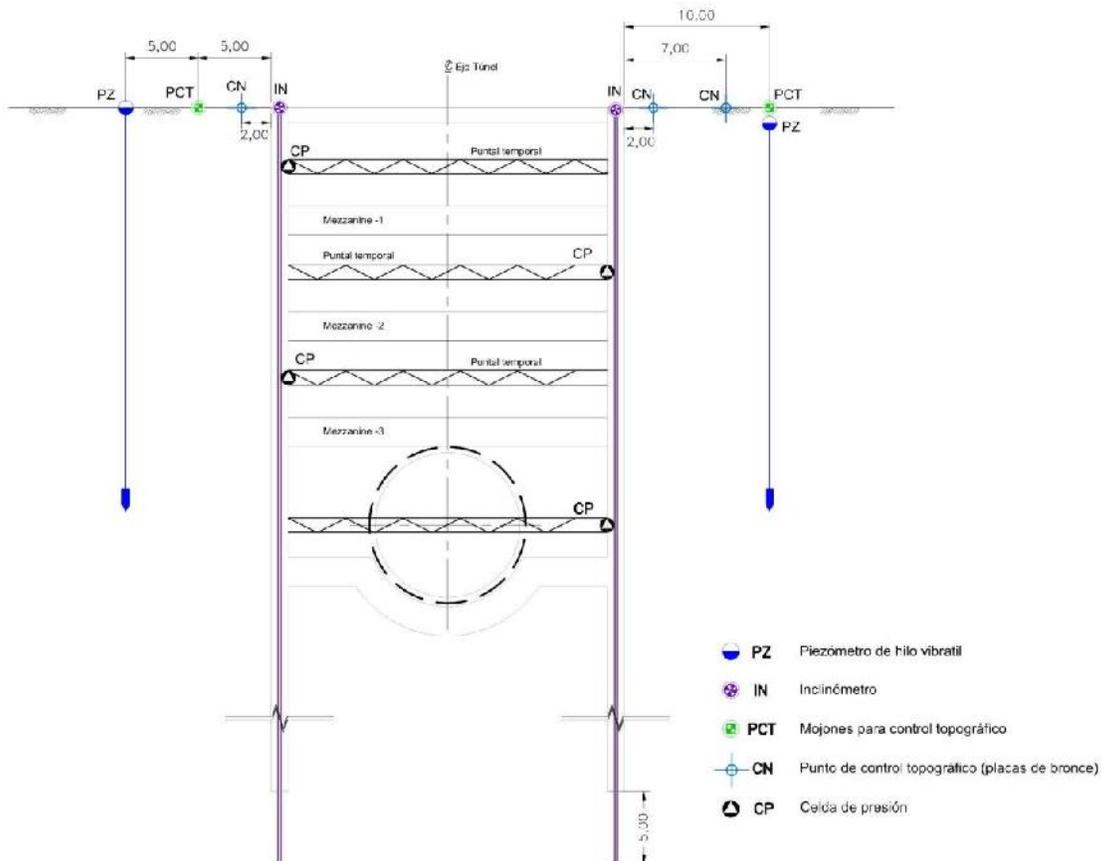


Figura 38. Estación de instrumentación típica en estaciones subterráneas

4.4 ACCESOS

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.

4.4.1 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.

4.4.2 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 de 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.

4.4.3 Módulo de acceso satelital tipo 3

Será exclusivo para la Estación E3, 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 39. Módulos de acceso tipo 1 en Estación 5



Figura 40. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación 4 (Av. Boyacá)

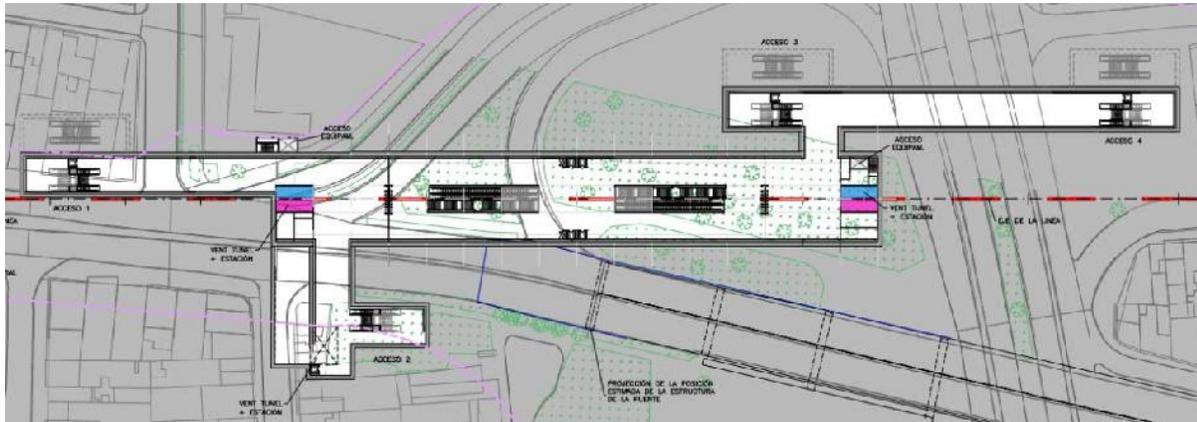


Figura 41. Módulos de acceso tipos 1 y 2 en Estación 3 (Av. 68)

En complemento de los 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 desde el acceso principal oriental de la E1 / L2MB hasta la mezzanina de la E16 / PLMB.

En la Figura 42 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 construidos con sistema Liner¹, según se aprecia en la Figura 43.

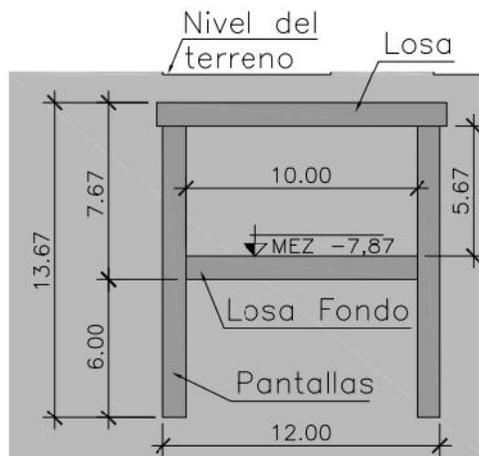


Figura 42. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones construidas con pantallas

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.

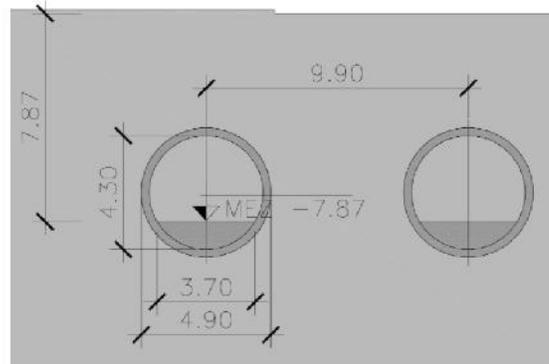


Figura 43. Galerías de conexión de accesos satelitales a estaciones mediante túneles independientes construidos con sistema Liner

4.5 BICIPARQUEADEROS

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:

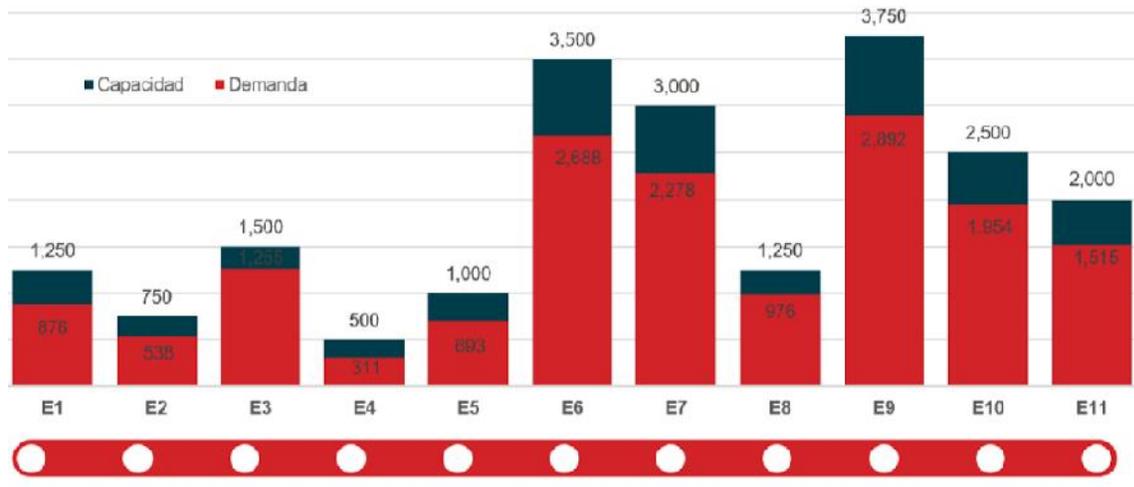


Figura 44. Número de biciparqueaderos en estaciones

5. ESTACIÓN ELEVADA

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.8.2 (Estructuras elevadas - Informe)
- Carpeta 10.8.2 (Estructuras elevadas - Anexos)

De acuerdo con el trazado establecido para la L2MB, se proyecta la construcción de una estación elevada (estación No. 11), ubicada en la calle 145 entre las carreras 141b y 145.

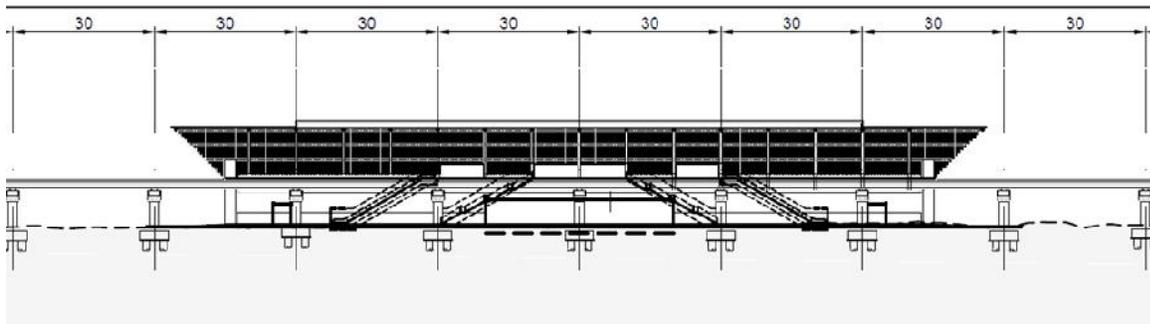


Figura 45. Perfil longitudinal del viaducto elevado en la zona de la Estación 11

Las características de la misma 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 estarán 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 hará 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 a 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 conforma 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 sistema 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.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

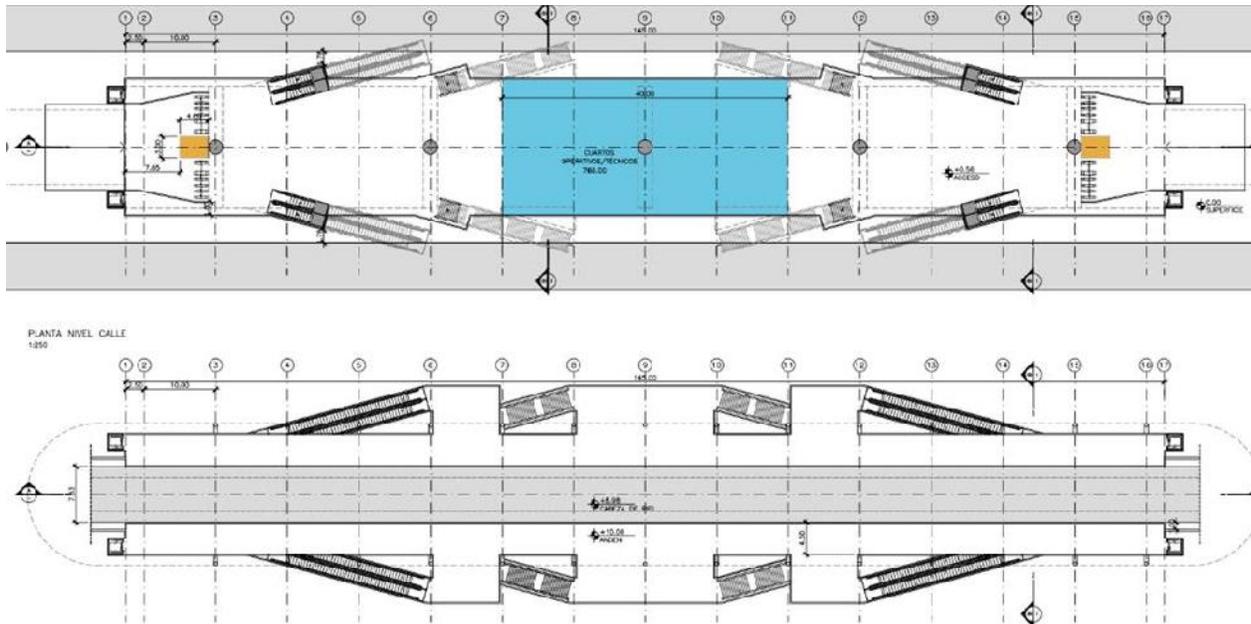


Figura 46. Planos de los pisos de entrada y de plataformas de la estación elevada

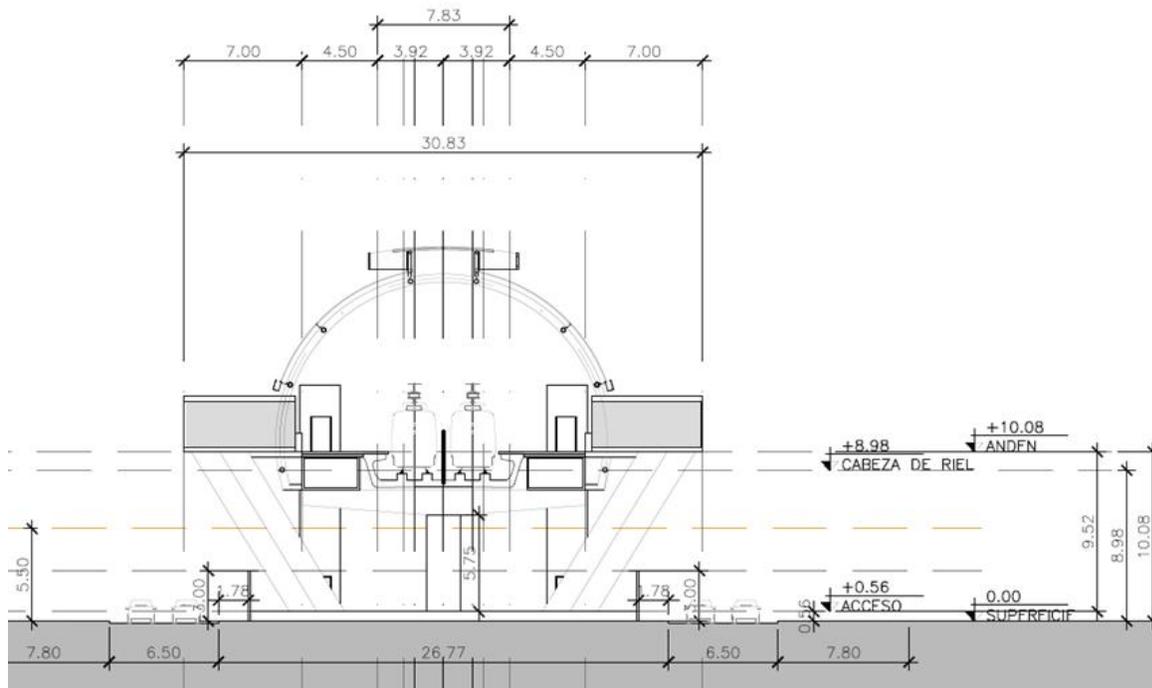


Figura 47. Sección transversal de la estación elevada

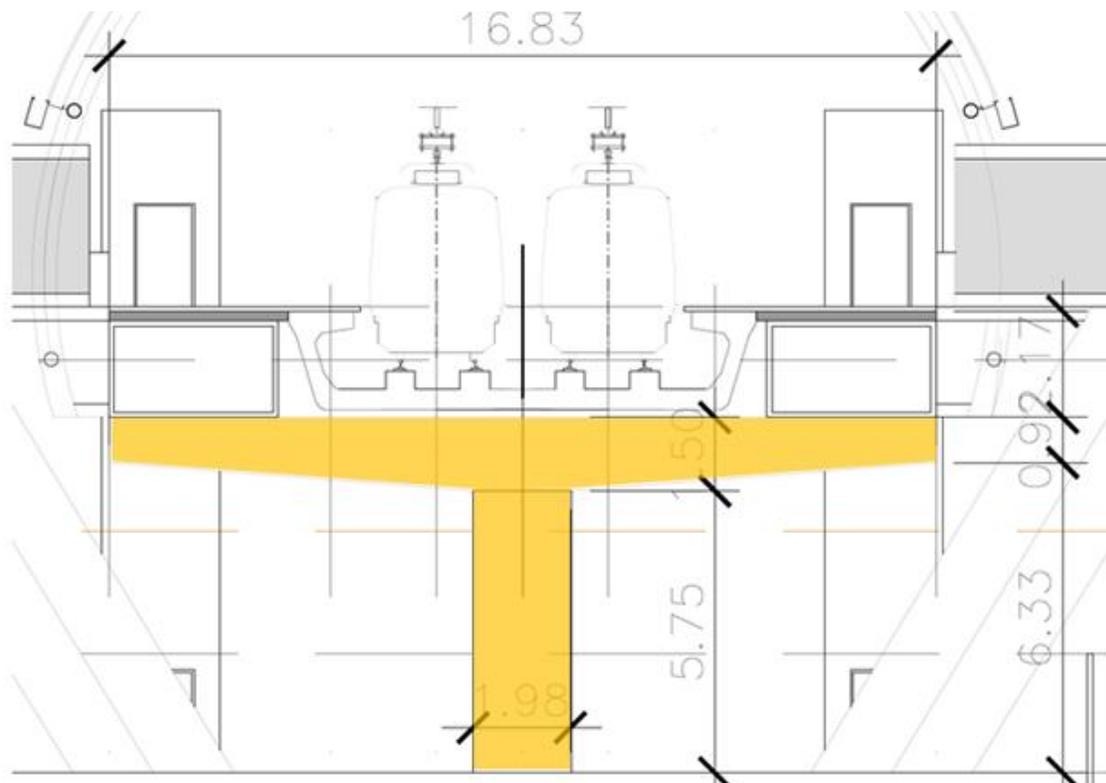


Figura 48. Detalle de estructura del cajón y capitel extendido de la estación elevada

6. PATIO TALLER

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.14.1 (Patios y Talleres - Características funcionales - Informe)
- Documento 10.14.2 (Patios y Talleres - Geotecnia - Informe)
- Documento 10.14.3 (Patios y Talleres - Arquitectura - Informe)
- Documento 10.14.4 (Patios y Talleres - Redes - Drenajes - Informe)
- Documento 10.14.5 (Patios y Talleres - Vías - Informe)
- Documento 10.14.6 (Patios y Talleres - Mecánica - Informe)
- Documento 10.14.7 (Patios y Talleres - Eléctrica - Informe)
- Documento 10.14.8 (Patios y Talleres - Telecomunicaciones - Informe)
- Carpeta 10.14.1 (Patios y Talleres - Funcionalidad - Anexos)
- Carpeta 10.14.3 (Patios y Talleres - Arquitectura - Anexos)
- Carpeta 10.14.4 (Patios y Talleres - Redes - Drenajes - Anexos)
- Carpeta 10.14.5 (Patios y Talleres - Vía perimetral - Anexos)
- Carpeta 10.14.6 (Patios y Talleres - Mecánica - Anexos)

6.1 UBICACIÓN

El Patio Taller estará 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. Dicho jarillón tiene 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 2547,5.

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 Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

El patio-taller se localiza detrás de la Estación N°11, ubicación ideal que limita el movimiento de trenes en vacío.

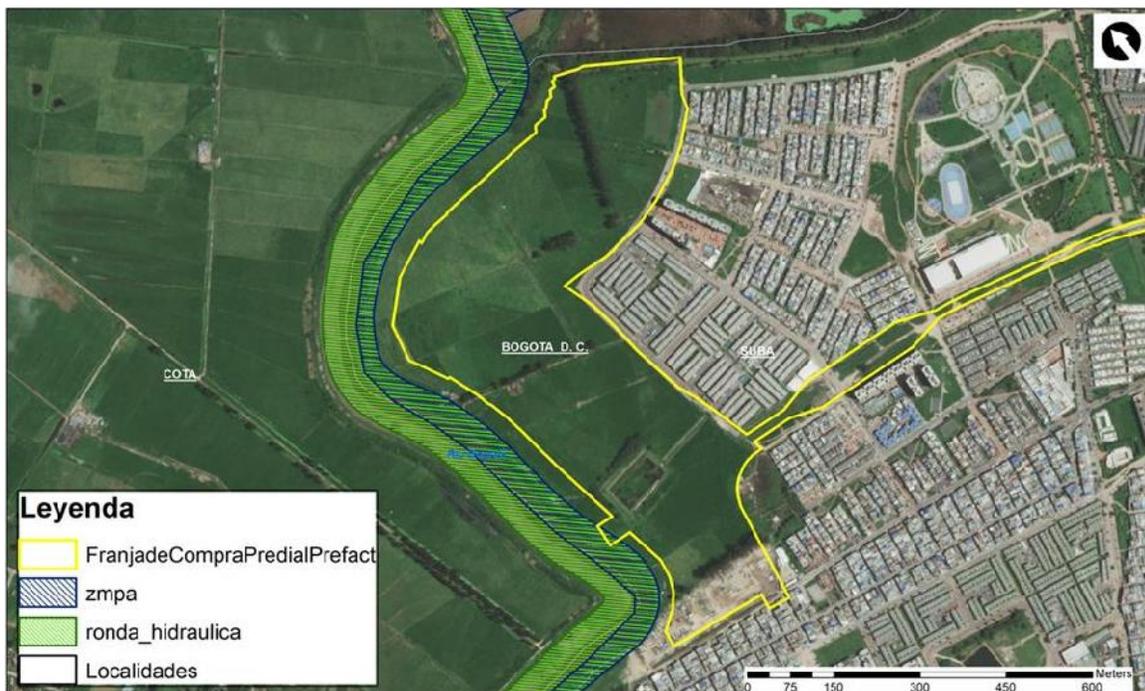


Figura 49. Ubicación del área destinada para el Patio Taller en predio Fontanar del Río

6.2 ADECUACIÓN

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 5,50 m, con el fin de evitar inundaciones, y que estos deberán extenderse en todo el perímetro del área licenciada 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 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) y rellenos conformados por una mezcla entre material granular convencional y ceniza volante. Se conformarán columnas de suelo cemento, de 0,50 m de diámetro con una longitud de 20 m separados 2,5 m centro a centro. Para el terraplén se consideró

un aligeramiento compuesto de una mezcla de rellenos 70% ceniza y 30 % material granular convencional. La configuración de las columnas de módulo controlado es equivalente a la definida para el Patio Taller de la PLMB; la mezcla ceniza y relleno generaría una presión de contacto equivalente a la definida en la PLMB.

Debido a la considerable altura del relleno, se utilizará la mezcla de aligerantes en el núcleo del terraplén, considerando la adición de ceniza con una densidad mucho menor que los estimados para rellenos con base granular tipo INVIAS; la proporción adecuada es 70% ceniza y 30% del volumen compuesto de material granular seleccionado.

Los asentamientos totales generados se controlarán a través de columnas de suelo cemento. Dichos elementos proporcionan una mejora en la capacidad portante del suelo, así como una menor deformabilidad.

Con la evaluación de asentamientos diferenciales se generó la necesidad de implantar una pantalla de pilotes en la frontera del terraplén, los cuales generarán una barrera de aislamiento frente a las deformaciones causadas por el terraplén.

La construcción de pantallas de pilotes requiere un sistema constructivo pre excavado utilizando protección (fluidos de estabilización) para evitar derrumbes de la excavación durante la ejecución de los mismos y excavación mecánica incluyendo la viga cabezal, posterior fundición de los elementos, teniendo en cuenta el descabece de los pilotes, 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 al 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.

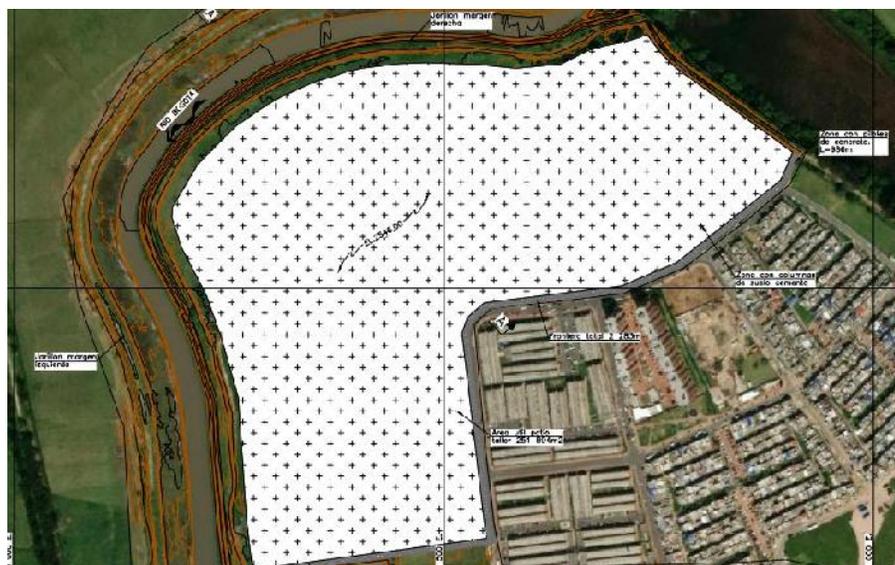


Figura 50. Planta de obras geotécnicas Patio Taller

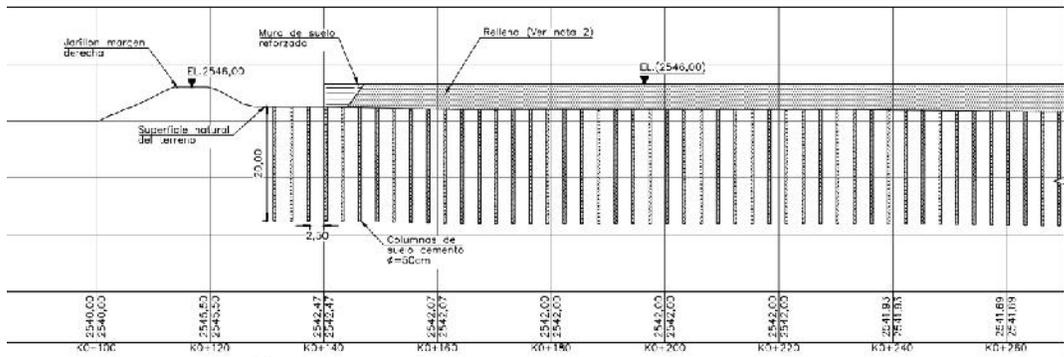
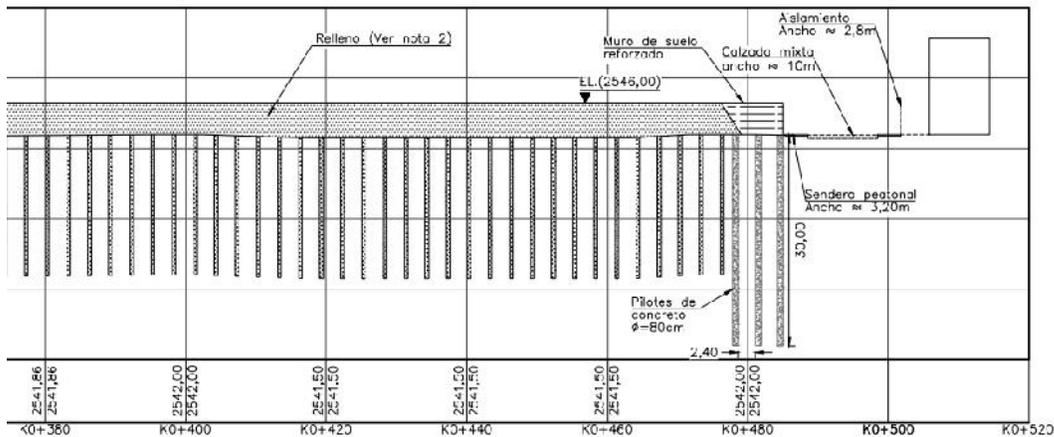


Figura 51. Sección transversal A-A costado jarillón



SECCIÓN A-A

Figura 52. Sección transversal A-A al costado de conjuntos residenciales.

6.3 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

6.4 OPERACIÓN

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

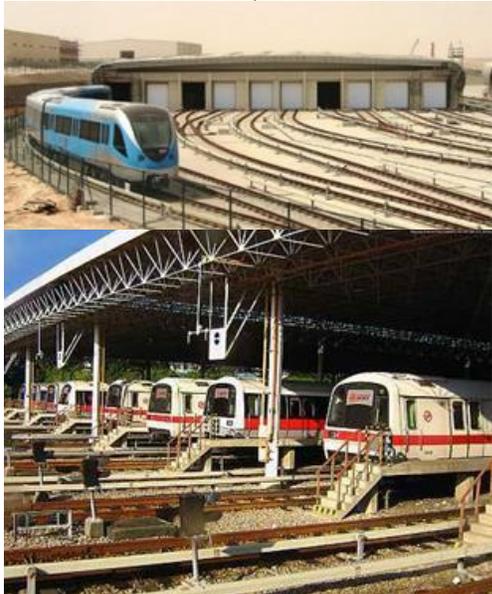
REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

- Mantenimiento Pesado: 1 x 8h
- Administración del taller: 1 x 8h
- Supervisión de la operación del taller: 2 x 8 h
- Seguridad: 3 x 8h

6.5 INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO

Tabla 11. Tabla de instalaciones de mantenimiento

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
Cochera / Estacionamiento de trenes	<p>30 posiciones de estacionamiento para trenes de 145 m de largo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 30 vías, 1 tren por vía - Área cubierta <p>1 área técnica para albergar personal y almacenar equipos de limpieza para el interior de los trenes~ 100 m2</p>	<p>Estacionamiento Actividad secundaria: Limpieza interior de trenes</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: ~100 m2 - Debe tener vía libre a cada lado de la planta de lavado equivalente a la longitud del tren (145 m) 	<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 145 m de largo - Nota: Esta actividad puede realizarse en la zona de cochera. 	<p>Limpieza reforzada Interior y Exterior de trenes</p>

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H – Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
		
Edificio de mantenimiento ligero/pequeño	<ul style="list-style-type: none"> - 3 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 ~ 500 m² 	<p>Mantenimiento Menor – niveles 1 a 3</p> 
Torno en foso	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía especializada con un torno de foso para el perfilado de las ruedas. - Vía libre a cada lado de la planta equivalente a la longitud del tren (145 m) - Área técnica para almacén de equipo ligero: 30 m² 	<p>Reperfilado de ruedas</p>  
Edificio de Mantenimiento Mayor	<ul style="list-style-type: none"> - 2 vías de mantenimiento para mantenimiento preventivo y correctivo - 1 vía para la limpieza del bastidor 	<p>Mantenimiento Mayor – niveles 4 a 5</p>

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía para una cabina de pintura - Talleres para la revisión de componentes del tren, almacén, salas de personal para empleados y trabajadores. ~ 9000 m2 	
Sistema Baja Bogies	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de mantenimiento correctivo con sistema de sustitución de vía de bogie. - Vía libre a cada lado de la planta equivalente a la longitud del tren (145 m) 	
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> 
	<ul style="list-style-type: none"> - Talleres y oficinas ~500 m2 - 2 vías de 100 m para vehículos de mantenimiento de infraestructura, 	Mantenimiento de Infraestructura

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
	estacionamiento y formación de convoy - Área externa para carga y descarga de camiones - Almacén exterior ~500 m2	
Almacén principal	- Almacén principal ~ 800 m2	
Vía de transferencia	- 1 vía de transferencia, cambio de conducción auto/manual	
Otros	- Caminos, vigilancia, subestaciones, tanque de agua, planta de tratamiento, etc.	

Edificio	Requerimientos	Actividad principal / Imagen de referencia
Vía de Pruebas ²	- Vía para prueba dinámica de trenes, en función de las características del material rodante, min 800 m	

6.6 REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN

El taller fue concebido para optimizar su funcionalidad, el flujo de vehículos y componentes, y la seguridad. El diseño de las instalaciones tuvo en cuenta lo siguiente:

- Reducir las distancias y facilitar los accesos entre las distintas zonas interdependientes, por ejemplo, las zonas para desmontar equipos en el techo, su área de reparación y almacenamiento
- Evitar las interferencias entre flujos independientes
- Permitir operaciones robustas y flexible (redundancia de acceso al depósito, vía de reserva, posibilidad de añadir equipos)
- Optimizar la comodidad de las áreas de trabajo (iluminación natural, insonorización)
- Reducir el impacto del taller en su entorno, en particular la contaminación acústica
- Optimizar los equipos de mantención y edificios para limitar las inversiones

6.7 ACCESO

El sitio dispondrá de:

- Conexión a vías principales y movimiento de trenes
- Áreas de tránsito seguras para el transporte y manejo de vehículos
- Zonas de tránsito seguro para personal autorizado
- Zonas de tránsito, estacionamiento y descarga de vehículos de carretera

6.8 MOVIMIENTOS

- El objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad de los trenes, sin fallas, para operación. Por ello, el tiempo de inmovilización que el tren pasa en el taller requiere ser optimizado.
- Los itinerarios más frecuentes serán los siguientes:
 - Línea principal ↔ Cochera
 - Línea principal ↔ Mantenimiento Menor
 - Cochera ↔ Mantenimiento Menor

² 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.

- Cochera ↔ Mantenimiento Mayor
- Mantenimiento Menor ↔ Mantenimiento Mayor
- Línea principal ↔ Mantenimiento de Infraestructuras
- Para optimizar el tiempo de indisponibilidad de los trenes, estos itinerarios tendrán una conexión directa.

6.9 REQUERIMIENTOS DE SUPERFICIE

Las necesidades de superficie e infraestructura para el Patio Taller son las siguientes:

Tabla 12. Áreas del Patio-Taller

Edificio / Área	Superficie	Características
1. Cochera	~ 30 000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 30 vías de 1 tren - Dimensiones: 185 x 164 m - Almacén de productos de limpieza y oficinas para operadores de limpieza
1.1 Vía de Lavado Intensivo	~ 1 400 m ²	
2. Torno de Foso	~ 700 m ²	<ul style="list-style-type: none"> - 1 vía con torno de foso, se indica medida de área que alberga el equipo - A nivel de vía se requiere, longitud libre delante y detrás del área técnica equivalente a la longitud de 1 tren (145)
3. Taller de Mantenimiento Menor	~ 6 000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> - 3 vías sobre pilotes - Superficie salas técnicas: ~2000 m²
4. Taller de Mantenimiento Mayor	~ 18 000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> - 2 vías embebidas - 1 vía de baja bogies - 1 vía de limpieza técnica - Provisión vía de pintura - Superficie talleres: 9 300 m² + - Superficie línea de bogies: ~2 500 m²

Edificio / Área	Superficie	Características
5. Taller de Mantenimiento de las Infraestructuras	~ 6 100 m ²	- 1 vía sobre pilotes - 1 vía embebida - 2 vías de cochera para vehículos auxiliares
6. Máquina de Lavado	~ 560 m ²	- 1 vía con máquina de lavado + 1 vía bypass - Edificio del Local Técnico (200 m ²)
7. Vía de pruebas ³		- Longitud de la vía: min 890 m
8. Almacén	~ 1 500 m ²	- Estantería de almacenamiento - equipos pesados
9. Administración	~ 700 m ² (área planta)	- Oficinas, salas de reunión, etc.
10. Otros locales técnicos	> 6 000 m ²	- Tanque de Agua ~ 500 m ² - Planta de Tratamiento ~ 1 000 m ² - Subestación de Tracción y Centro de Transformación ~ 650 m ² - Estación de Servicio ~ 50 m ² - Estacionamiento ~ 3 600 m ²

6.10 MANTENIMIENTO

6.10.1 Estrategia de mantenimiento de la L2MB

Teniendo en cuenta las especificidades del sistema de transporte, la estrategia del mantenimiento de la L2MB considera las siguientes premisas:

- Las intervenciones de mantenimiento contribuirán a mantener la continuidad y la calidad diaria del servicio.
- Las intervenciones de mantenimiento mantendrán el desempeño inicial (disponibilidad, confiabilidad y seguridad) de cada uno de los equipos y sistemas que componen el sistema.
- Las operaciones de mantenimiento contribuirán a la sostenibilidad del sistema durante su vida útil.

³ El tamaño y la forma del recinto del patio-taller no permite la integración de una vía de pruebas. En este sentido, las pruebas se realizan en línea (tramo recto y con pocos desniveles de ~1 km). Se establece para ese fin el uso de la sección de vía ubicada entre las estaciones 9 y 10, que corresponde con estos criterios.

El concepto de mantenimiento del sistema de la L2MB se basará en la norma de gestión ISO 9001: 2008, que garantiza:

- La aplicación de una política de mantenimiento centrada en el cliente con el compromiso de todos
- La calidad y la coherencia del mantenimiento de acuerdo con los procedimientos aplicables y la descripción de las tareas
- Mantener estable el nivel inicial de seguridad para todo el sistema de transporte, puesto que los procedimientos y la descripción de las tareas se han elaborado teniendo en cuenta los requisitos de seguridad y el análisis de riesgos
- Devolver los REX pertinentes basados en la trazabilidad de las intervenciones de mantenimiento
- Obtener una ganancia de eficiencia y una reducción de costos mediante el proceso de mejora continua y el tratamiento de los incumplimientos

6.10.2 Tipos de mantenimiento previstos

Las actividades del mantenimiento previsto en la L2MB se dividen en dos categorías principales:

- Mantenimiento preventivo, también llamado mantenimiento programado, el cual ofrece una frecuencia de mantenimiento basada, por ejemplo, en la duración, los kilómetros recorridos o las condiciones específicas.
- El mantenimiento correctivo, que depende de las averías.

La siguiente figura muestra los tipos de mantenimiento antes mencionados y los conceptos complementarios derivados de los mismos:

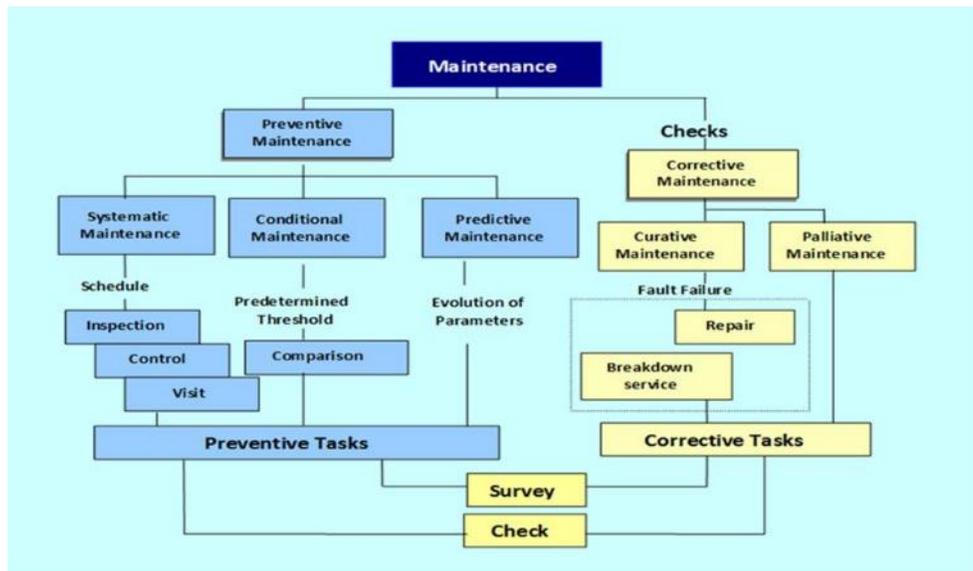


Figura 53. Sinopsis del mantenimiento previsto en la L2MB

6.10.2.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se fundamenta en tres conceptos:

- El mantenimiento programado o sistemático según el plan de mantenimiento.

- El mantenimiento condicional, según la evolución de los criterios de activación del mantenimiento preventivo.
- El mantenimiento predictivo (también llamado mantenimiento proactivo).

Estos conceptos se describen a continuación.

6.10.2.1.1 *Mantenimiento sistemático*

Este tipo de mantenimiento corresponde al indicado principalmente por el proveedor del equipo, con base en parámetros, sin control. Se trata de gamas de mantenimiento procedentes de la documentación de mantenimiento estudiada y propuesta por los fabricantes. Son escalables en función de la información recibida. Las tareas se programan en función de parámetros como:

- El tiempo (día, semana, mes, año),
- El número de secuencias en el equipo (kilometraje, bloqueo o liberación, cierre o apertura),
- El intervalo (edad del equipo...).

6.10.2.1.2 *Mantenimiento condicional*

Este mantenimiento se basa en el seguimiento de datos específicos, por comparación con umbrales predefinidos. De este modo, las tareas de mantenimiento sólo se activan cuando se alcanza o supera el umbral. El objetivo principal de este tipo de mantenimiento es anticiparse a las averías. Los desencadenantes suelen ser el resultado de una medición, por ejemplo:

- Duración anormal de apertura y cierre de las puertas del tren en comparación con la duración media
- Tiempo total de funcionamiento de un compresor durante un día

6.10.2.1.3 *Mantenimiento predictivo*

Este tipo de mantenimiento se basa en la información resultante de análisis específicos y se refiere a equipos muy particulares en los que no es posible instalar dispositivos o sensores inteligentes. Los resultados se interpretan mediante reglas para prever las tareas de mantenimiento. Por ejemplo, el mantenimiento del sistema mecánico de una caja de cambios se planifica en función del resultado del análisis del aceite a través de una muestra de equipos o sistemas.

6.10.2.2 *Mantenimiento correctivo*

Este tipo de mantenimiento no está programado por naturaleza, y se activa por defectos y/o alarmas. Su objetivo es el restablecimiento del funcionamiento normal o parcial. Considera los siguientes conceptos:

6.10.2.2.1 *Mantenimiento paliativo*

El objetivo de este tipo de mantenimiento es una acción de mantenimiento correctivo que permita realizar de forma provisional toda o parte de una función necesaria. Comúnmente llamado "*reparación temporal*", el mantenimiento paliativo consiste principalmente en acciones temporales que deben ir seguidas de acciones curativas. Se trata, por tanto, de restablecer el funcionamiento de los equipos tras una avería, a la espera de las intervenciones curativas.

6.10.2.2.2. *Mantenimiento curativo*

El objetivo de este tipo de mantenimiento es restablecer el sistema en condiciones nominales después de una avería.

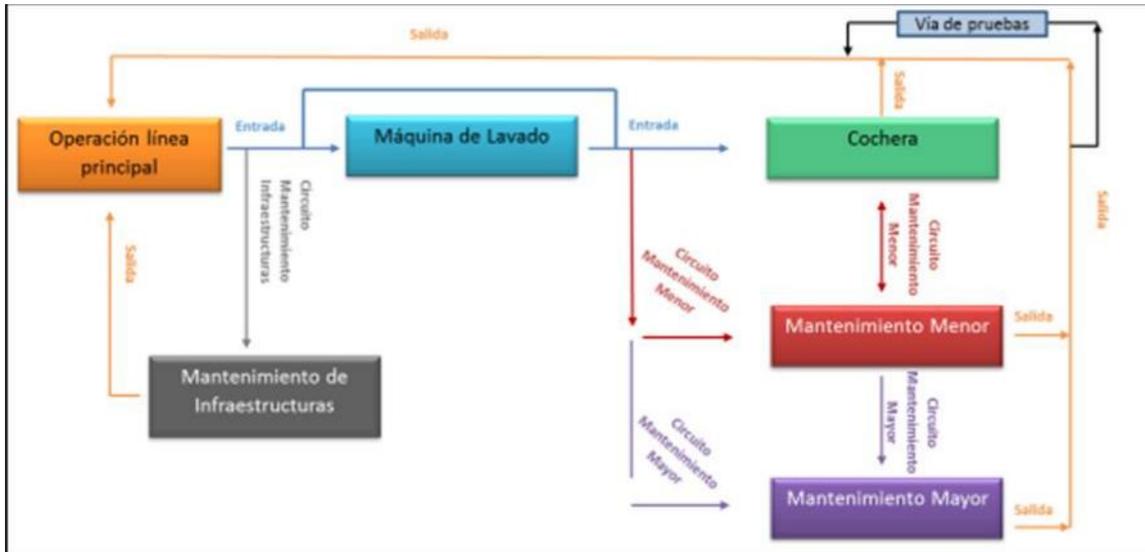


Figura 54. Flujo de trabajo ideal

Considerando el modo de operación de la línea, este flujo será segregado como se muestra a continuación:

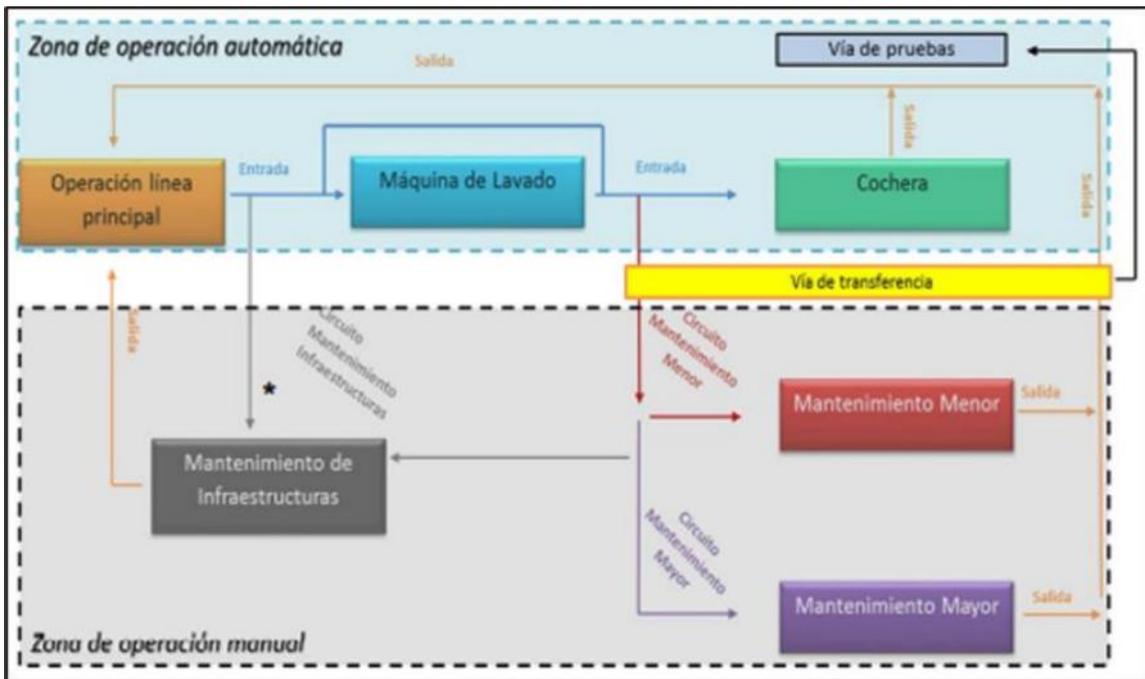


Figura 55. Flujo de trabajo segregado

6.10.3 Actividades de mantenimiento

Para el material rodante las actividades de mantenimiento incluirán, pero no se limitarán, a las tareas enunciadas en la siguiente tabla:

Tabla 13. Plan de mantenimiento del material rodante

Tipo de mantenimiento		Tarea
Mantenimiento preventivo	Control visual diario	Inspección visual interior y exterior del tren Tiempo de inmovilización del tren < 30 min En Estacionamiento
	Operación de mantenimiento de seguridad	Prueba, inspección, adicional y solución de problemas de los componentes relevantes para la seguridad como: <ul style="list-style-type: none"> - Bastidor del vehículo, - Frenos, - Juegos de ruedas, - Señales, - Parachoques, - Trenes... Tiempo de inmovilización del tren <4 horas En Edificio de Mantenimiento Menor
	Operación de mantenimiento ligero	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de los componentes del equipo de control neumático y electroneumático, - Inspección de las características relevantes para la seguridad, inspecciones de radio y control remoto por radio, así como pruebas de funcionamiento estáticas y dinámicas, - Reperfilado de ruedas, - Lubricación, - Reparaciones menores. Tiempo de inmovilización del tren 1 – 2 días En Edificio de Mantenimiento Menor / Mayor
Mantenimiento patrimonial	Operación de mantenimiento pesado: revisión	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de puertas, posición de las ruedas: - Revisiones y pruebas de los componentes del equipo de control neumático y electroneumático, - Actualización y reequipamiento de los componentes de los frenos y del equipo interior, - Bogies Tiempo de inmovilización del tren: 1 – 2 meses En Edificio de Mantenimiento Mayor
	Operación de mantenimiento pesado: renovación	Renovación de: <ul style="list-style-type: none"> - Motores y componentes del sistema de accionamiento (engranaje de tracción...), - Bogies, - Sistemas de freno, - Chasis, - Sistemas electrónicos, - Sistemas hidráulicos, - Sistemas neumáticos, - Sistemas de alimentación, - Topes y engranajes de tracción. Tiempo de inmovilización del tren: 1 – 2 meses En Edificio de Mantenimiento Mayor

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Tipo de mantenimiento		Tarea
	Renovación	

El plan de mantenimiento previsto con el cual se dimensionaron las instalaciones del Patio Taller, es el siguiente :

Tabla 14. Plan de mantenimiento

	Tipo de mantenimiento	Frecuencia	Duración día
Mantenimiento ligero	Mensual	10 000	0,5
	Trimestral	30 000	2,5
	Anual	120 000	4
	Reperfilado	120 000	1
Mantenimiento pesado	Gran Revisión 1	4 años o 400 000	15
	Gran Revisión 1	8 años o 800 000	30

Las vías necesarias para realizar el mantenimiento al interior del Patio Taller son las siguientes:

Tabla 15. Vías de mantenimiento requeridas

Edificio	Vías requeridas
Cochera	- 30 vías
Mantenimiento Menor	- 3 vías elevadas sobre pilotes
Mantenimiento Mayor	- 2 vías sobre losa - 1 vía de lavado técnico - 1 vía para pintura de trenes - 1 vía para baja bogies
Torno en foso	- 1 vía

6.11 LAYOUT

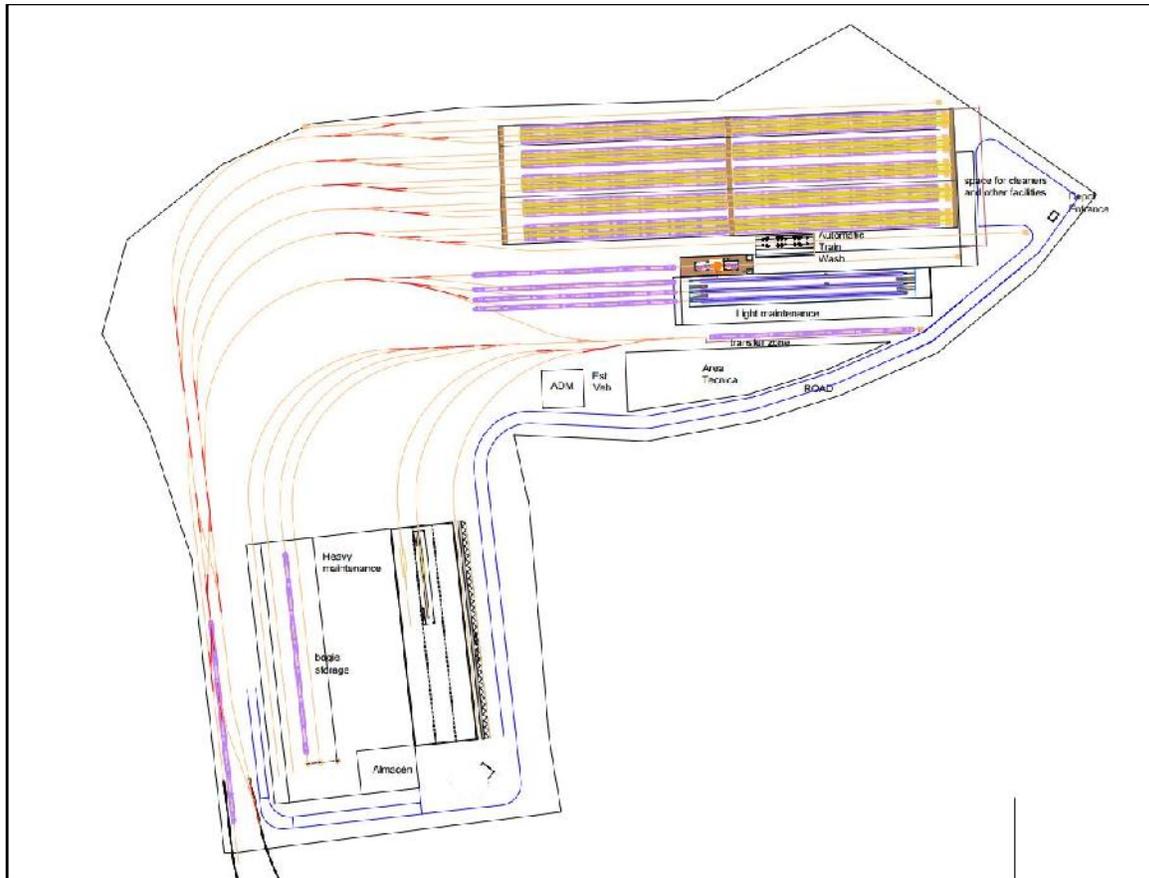


Figura 56. Layout del patio-taller

7. CENTRO DE CONTROL OPERACIONAL - CCO

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.17.1 (CCO - Características funcionales - Informe)
- Documento 10.17.2 (CCO - Arquitectura - Informe)
- Documento 10.17.3 (CCO - Redes hidrosanitarias)
- Documento 10.17.4 (CCO - Mecánica - Informe)
- Documento 10.17.5 (CCO - Redes eléctricas - Informe)
- Documento 10.17.6 (CCO - Sistemas electrónicos - Informe)
- Carpeta 10.17.2 (CCO - Arquitectura - Anexos)
- Carpeta 10.17.3 (CCO - Redes hidrosanitarias - Anexos)
- Carpeta 10.17.4 (CCO - Mecánica - Anexos)

Para operar una línea es fundamental que los sistemas ferroviarios sean operados de forma controlada, coordinada y supervisada. Para que los tres 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 de forma acertada.

El Centro de Control Operacional (CCO) abarca al conjunto de equipamiento que permitan la supervisión y gestión centralizada de todos los sistemas de la L2MB.

7.1 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)

7.2 CARACTERÍSTICAS

El CCO estará ubicado en distintos niveles de las estaciones 5 y 6, las cuales ofrecen buena accesibilidad para el personal que allí laborará. 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)

7.3 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:

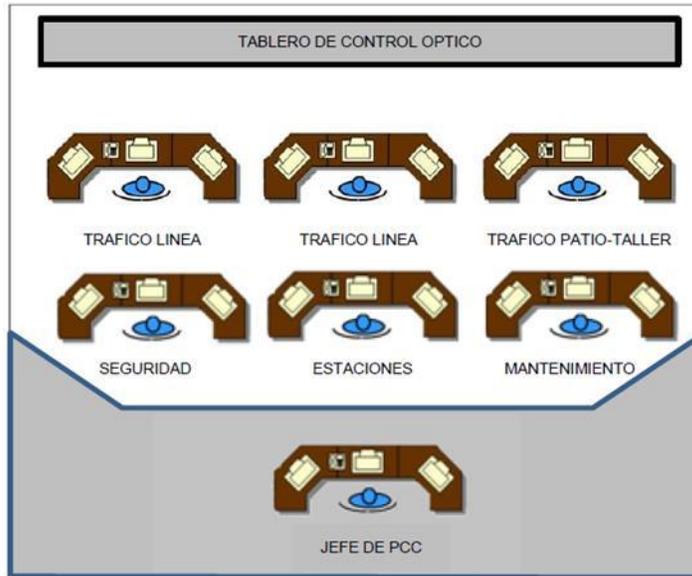


Figura 57. Organización en el CCO

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 reducido.

Las figuras mostradas a continuación muestran ejemplos de CCO para la operación de líneas de Metro en el mundo:



Figura 58. CCO del Metro de Sidney



Figura 59. CCO del Metro de Dubai

7.4 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:

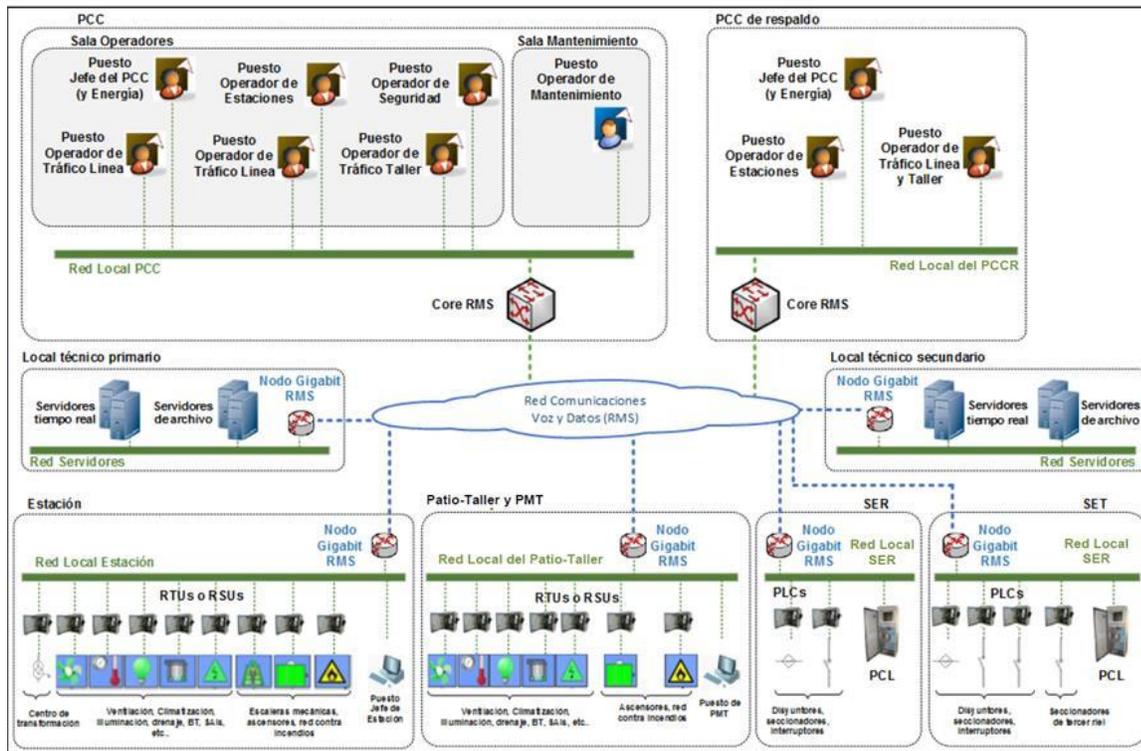


Figura 60. Arquitectura típica del SCS

7.5. UBICACIÓN DEL CCOP Y CCOR

Para la L2MB, considerando la necesidad de un espacio amplio, del 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 Mezzanina -2.



Figura 61. Ubicación del CCOP en al nivel Mezzanina - 2 en la estación 5

Tal como se ve en la ilustración anterior, el nivel mezzanina 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, mezzanina 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 62. Ubicación del data center al nivel Mezzanina - 3

8. CONSTRUCCIÓN Y HABILITACIÓN DE VÍAS URBANAS

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.4 (Diseño geométrico vial - Informe)
- Carpeta 10.4 (Diseño geométrico vial - Anexos)

Las vías urbanas por construirse y habilitarse en desarrollo de la L2MB se concentran en la zona del tramo elevado y corresponden a la Avenida Transversal Suba (o extensión de la calle 145), y dos vías aledañas al Patio Taller que permitirán el acceso al mismo.

En la siguiente tabla se presenta la tipología de las vías antes mencionadas:

Tabla 16. Tipología de las vías por construirse en el proyecto de L2MB

VÍA	Tipología POT 2022 - 2035
Calle 145 entre carrera 128 y carrera 148	A2

Carrera 148 entre calle 144 y calle 145	A2
Calle 144 entre carrera 148 y carrera 150C	Intermedia I4
Calle 146 entre carrera 137 y diagonal 147	Vía local

8.1 CARACTERÍSTICAS

8.1.1 Calle 145 - Carrera 48

La intervención vial en la calle 145 comprende un primer tramo entre las carreras 128 y 148, y un segundo tramo de la carrera 148 entre las calles 145 y 144. Estas vías hacen parte de la malla vial arterial complementaria y serán del tipo A2. La longitud total de las mismas será de 1,3 km y se construirán en dos ejes separados, uno por calzada (E-W y W-E).



Figura 63. Trazado en planta prolongación calle 145

En los primeros 300 m de la vía existen conjuntos residenciales por ambos costados que limitan el espacio para desarrollar una sección transversal amplia. Adicionalmente, en esta zona se ubica el pozo del ingreso de la tuneladora (paso del sistema elevado a férreo subterráneo), por lo que para propósitos de optimización de espacios las calzadas de la vía necesariamente tendrán que habilitarse sobre la losa superior de dicha estructura.

La calzada E-W requerirá paso sobre el pozo de ingreso de la tuneladora en una longitud de 100 m, elevándose aproximadamente 1,50 m respecto al terreno actual. Por su parte, la calzada W-E requerirá un paso de 250 m, de los cuales 100 m estarán localizados sobre el mencionado pozo a una altura máxima de 5 m sobre el terreno actual. Entre la rasante del Metro y la rasante de la vía se tendrá un gálibo mínimo de 7 m (5,50 m de altura libre y 1,50 m de estructura).

Dadas las limitaciones de espacio sobre la carrera 136A, se requerirá el cierre de esta intersección. No obstante, los movimientos de tráfico que actualmente se hacen en la misma podrán reemplazarse con el uso de la malla vial actual. Para el acceso a los predios ubicados sobre el costado occidental del corredor se construirá una vía de servicio pacificada.

Entre el K0+300 y el K0+600 el trazado de la calzada E-W seguirá el trazado del Metro, respetando una distancia mínima entre el borde de vía izquierdo y el eje del Metro de 5,05 m, con el fin de generar la menor afectación posible sobre el costado norte, donde se encuentra el Parque Fontanar. En relación con la calzada W-E, se seguirá su trazado actual, respetando la reserva vial correspondiente.

En el K0+550 se habilitará un retorno oriente-occidente, el cual fue emplazado en este sitio porque allí se dispone de gálibo suficiente con respecto al Metro elevado. El diseño del retorno se modeló con un bus tipo padrón, considerando la velocidad de diseño de la Avenida Transversal de Suba (40 km/h) y disponiendo de transiciones mínimas de 45 m.

Entre el K0+600 y K1+000 el trazado se ve cruzado por las carreras 141B y 145, por lo que en estas abscisas fue necesario verificar que el diseño vertical empalmara con la condición existente y que las rasantes entre calzadas fueran similares. Se garantizará la consistencia de la nueva vía con las mencionadas intersecciones.

Entre el K1+000 y el final del trazado no se tiene limitante alguna, por lo que el trazado sigue la reserva vial prevista, dejando el espacio disponible sobre el centro del corredor. Teniendo en cuenta que la carrera 148 no tiene continuidad después de la calle 144, se planteó un empalme con la misma habilitando un retorno provisional del corredor. En este tramo se presenta la conexión con el Patio Taller del sistema Metro.

La cicloruta exigida por la sección del POT se construirá sobre el costado norte del corredor puesto que sobre este costado habrá conexión con la red de ciclorutas del Parque Fontanar. También porque se dispone de mayor espacio.

8.1.2 Calle 146

La prolongación de la calle 146 está prevista entre la carrera 137 y la diagonal 147. Será una vía tipo I4 (intermedia) con una calzada bidireccional de 7 m. La vía se necesita para darle continuidad a la red vial local existente y poder acceder al Patio Taller por la calle 146 a la altura de la diagonal 151. La longitud total del nuevo trazado será de 370 m.

El trazado horizontal mantendrá el contorno del Parque Fontanar sobre la carrera 137, y en los primeros 100 m del eje se construirá una transición de dos calzadas de 5 m con separador de 2 m a una sola calzada. En los primeros 200 metros se habilitará un andén sobre el costado sur, para darle continuidad a la zona comprendida entre el espacio público del Parque Fontanar y la calle 146. Desde el K0+200 hasta el final del alineamiento se conservará el andén y la cicloruta existentes del Parque Fontanar, planteándose un alineamiento horizontal paralelo a los niveles del parque.

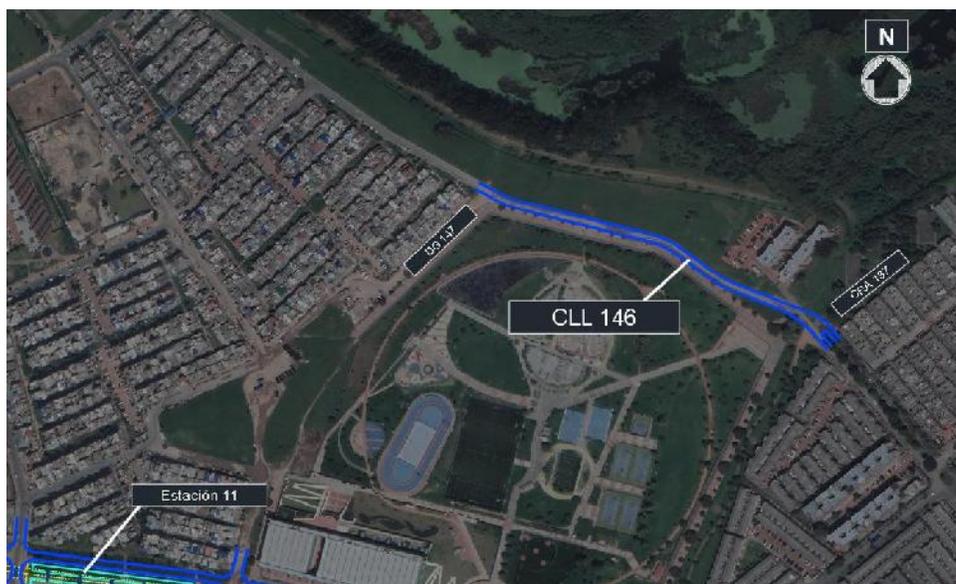


Figura 64. Trazado en planta prolongación calle 146

8.1.3 Calle 144

La prolongación de la calle 144 está prevista entre la carrera 148 y la carrera 150 C, con tipo de vía Local y calzada bidireccional de 6 m. La vía dará continuidad a la red vial local existente para poder acceder al Patio Taller por la calle 146 a la altura de la diagonal 151. La longitud total del trazado es de 295 m.

La sección transversal mantendrá el perfil existente de la calle 144 al oriente de la carrera 148. El trazado horizontal respeta los paramentos de los predios al costado sur del corredor. Considerando que la vía actual no se encuentra construida, la nueva rasante tendrá en cuenta la altura de los predios del costado sur, garantizando el fácil acceso a los mismos y facilitando el drenaje superficial de los andenes hacia la vía.



Figura 65. Trazado en planta de la calle 144 entre carreras 148 y 150 C

9. URBANISMO Y PAISAJISMO

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.5 (Urbanismo y paisajismo- Informe)
- Carpeta 10.5 (Urbanismo y paisajismo - Anexos)

9.1 FRANJA DE CIRCULACIÓN PEATONAL

“Es el elemento principal en el diseño de cualquier andén. Debe ser continua, libre de obstáculos (incluso libre de alcorques, postes y mobiliario urbano en general), sin cambios de nivel, sin interrupciones o escalones. Está destinada para la circulación de peatones incluso los de movilidad reducida. El ancho de la franja corresponde al ancho libre sin contar bordillos, en el caso que la franja contigua sea una de Paisajismo y mobiliario. Para casos donde la franja de Circulación peatonal colinde con franja de ciclorruta, su ancho se mide teniendo en cuenta el bordillo de confinamiento.” (Cartilla de andenes Bogotá D.C. SDP, 2018)

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Las franjas de circulación peatonal se intervienen dentro de los límites proyectados en cada estación de dos maneras: mejoramiento, o reconfiguración del perfil. Dichas franjas disponen de los siguientes elementos:

- Loseta Panot Color Gris y ocre de 200 x 200.
- Loseta Prefabricada en Concreto Tactil Guía 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 66. 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)

9.2 CICLORUTAS

“Son áreas continuas que permiten la circulación de bicicletas, patinetas u otros vehículos de micromovilidad, Debe estar ubicada en calzada y demarcada o segregada con el fin de proteger al peatón, ciclista y usuarios de micromovilidad y minimizar los conflictos con otras personas usuarias de la calle. Puede ubicarse de manera excepcional a nivel del andén cuando sea posible segregarla por medio de una Franja de paisajismo y para la resiliencia Urbana, o en aquellos tramos y recorridos existentes, o que se enmarquen en licencias urbanísticas aprobadas y vigentes, o cuenten con diseños definitivos aprobados previo a la entrada en vigencia del presente plan. “ (Artículo 154, Decreto 555 de 2021, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021).

En la L2MB se proyectan ciclorrutas cuando se conectan con la cicloinfraestructura existente de la ciudad. Su construcción se prevé en asfalto poroso cuando se ubican a nivel de andén. Cuando se encuentran a nivel de calzada se utiliza la carpeta asfáltica de la calzada vehicular.



Figura 67. 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)

9.3 FRANJA DE PAISAJISMO

“Franja cuya función principal es aportar a la calidad ambiental y segregar modos de circulación, protegiendo principalmente al peatón. Es donde se generan actividades urbanas diferentes a la circulación. En esta franja se ubican la vegetación, mobiliario, señalización, rampas de acceso a predio, vados peatonales, elementos complementarios al transporte público y elementos de servicios públicos. Su ancho se mide teniendo en cuenta el bordillo de confinamiento y el sardinel.” (Cartilla de andenes Bogotá D.C. SDP, 2018).

Se dispone de franjas de paisajismo en los dos tipos de intervención, de mejoramiento y de reconfiguración de tipo de calle, cuando el ancho de la sección por intervenir cumple con los anchos mínimos funcionales y normativos para la circulación peatonal. Sobre esta franja se incorporan individuos arbóreos, así como mobiliario urbano.

Las franjas de paisajismo disponen de los siguientes materiales:

- Cubresuelos (Suelda Con Suelda, Hiedra Miami).
- Caucho Reciclado Poroso "In Situ".

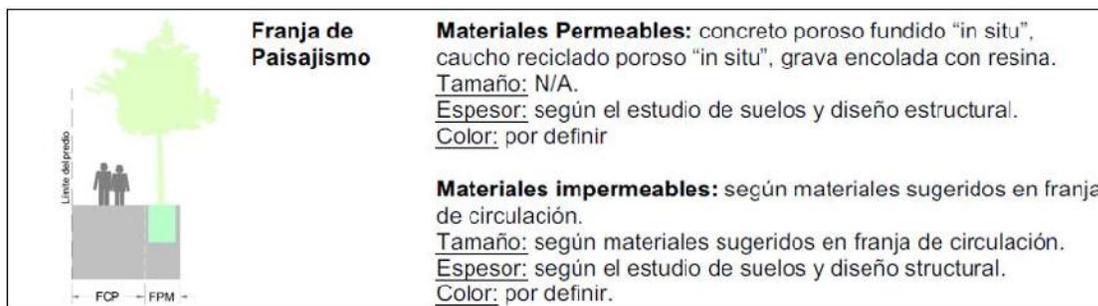


Figura 68. Franja de paisajismo

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)

9.4 ACCESOS A PREDIOS Y RAMPAS VEHICULARES

Cuando por efectos de la intervención en superficie de los 150 metros por estación (especificación contractual de EMB) se requiere intervenir un acceso vehicular a un predio, se respetan las siguientes condiciones:

- La longitud de la rampa de acceso se restringe a la franja de paisajismo y mobiliario, de forma tal que se garantice la continuidad de la franja de circulación peatonal.
- Cuando existen antejardines, el desarrollo de la rampa vehicular inicia su desarrollo después de la línea límite del predio.
- Se utiliza concreto fundido y concreto estampado de acuerdo con la estructura de pavimento para un tráfico vehicular.

9.5 MOBILIARIO URBANO

La implementación del Mobiliario Urbano tiene en cuenta las recomendaciones de la cartilla del espacio público y la cartilla *“Lineamientos de Espacio público para la Estructuración Técnica del Tramo 1 de la Primera Línea de Metro de Bogotá”* de la Secretaría Distrital de Planeación.

La localización del mobiliario satisface los siguientes principios:

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 es uno de los elementos

construidos que otorgan una caracterización visual e identidad al corredor. Por lo tanto, dispone de elementos particulares incluidos en la cartilla de mobiliario de la SDP, adoptados según su ubicación y utilización.

Unidad espacial: El mobiliario urbano de la L2MB se desarrolla de manera homogénea en las áreas de intervención de los 150 metros de las estaciones, Tiene en cuenta especificaciones adecuadas de materiales en bancas, canecas y demás elementos, y permite un resultado unificado y articulado en las áreas de intervención en superficie alrededor de las estaciones.

Confort funcional: El mobiliario urbano de la L2MB es ergonómico, funcional y práctico. Cumple este propósito con la menor cantidad de elementos posibles y sin decoraciones carentes de función.

Durabilidad y practicidad: Los sistemas constructivos, materiales y especificaciones técnicas de los elementos que conforman el mobiliario urbano garantizan su duración en el tiempo, su resistencia al vandalismo, su practicidad al momento de la limpieza y su mantenimiento.

Sostenibilidad: Los procesos constructivos, materiales y durabilidad de los elementos que conforman el mobiliario urbano de la L2MB son responsables con el ecosistema y ocasionan el menor impacto posible en su implementación.

A continuación se ilustran algunos ítems del mobiliario urbano previsto:

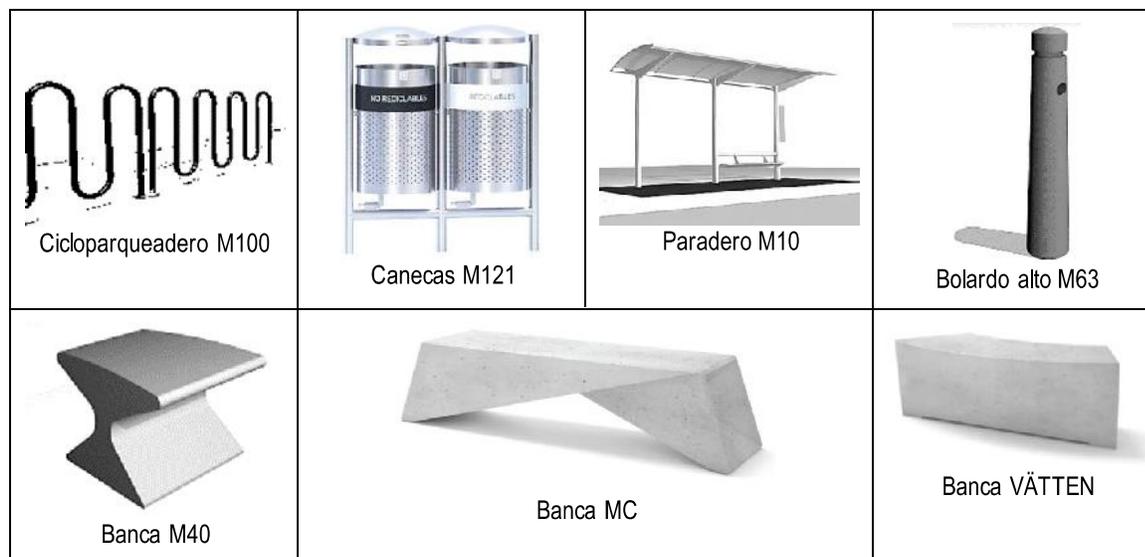


Figura 69. Ítems de mobiliario considerados
Fuente: Tomada y adaptada de la SDP Cartilla de mobiliario urbano. 2007

9.6 PAISAJE

La intervención paisajística de la L2MB responde a las necesidades ambientales y de bienestar social de la ciudad y mantiene un equilibrio entre lo antrópico y lo natural. Considera, como punto de partida, la conservación y preservación del patrimonio ambiental.

La intervención paisajística para la L2MB guarda correspondencia con las necesidades ambientales urbanas y particulares del proyecto, y mitiga los impactos generados por la inserción de esta infraestructura vial. Está acorde con los siguientes conceptos:

Patrimonio ambiental: La conservación y protección del patrimonio ambiental de la ciudad, como lo es el arbolado urbano existente, zonas verdes, áreas y cesiones de carácter ambiental como lineamiento principal a los diseños paisajísticos. En

segunda instancia, la incorporación y/o generación de zonas verdes arborizadas con el fin de disminuir los impactos generados por la infraestructura vial. Asimismo, tratamientos forestales encaminados a la conservación, minimizando los tratamientos de traslado y tala.

Imagen e identidad: La inclusión del material vegetal en el proyecto, la cual debe generar sensación de bienestar dentro de la percepción de los usuarios del espacio público como son los peatones, bici usuarios y usuarios de medios de transporte vehicular público y privado, experimentando sensaciones distintas entre zonas o unidades del paisaje previstas, creando nodos urbanos distintivos para el proyecto L2MB, y adicionalmente, percepción de una sensación de equilibrio entre lo urbano y lo natural.

Confort climático: La inserción de material vegetal corresponde con la mitigación de las islas de calor⁴, y brinda bienestar social y aumento de la calidad de vida urbana.

Sostenibilidad: La intervención paisajística incorpora principalmente especies nativas en cuanto al arbolado urbano, al igual que en la jardinería urbana. Permite un desarrollo óptimo de cada una de las especies y minimiza el mantenimiento de las mismas, vinculando sistemas complementarios de recolección de aguas pluviales como son los Sistemas de Drenaje Sostenible SUDS, que generan la mejora de la calidad hídrica y ambiental de la ciudad. Asimismo, crea condiciones favorables a la preservación y aumento de avifauna.

Seguridad y bienestar social: La intervención paisajística se ajusta a las condiciones de seguridad social, plasmada en la inserción coherente de los distintos tipos de porte de arbolado urbano y jardinería urbana, permitiendo transparencia y permeabilidad de los distintos actores del espacio público, principalmente en áreas aledañas a cruces peatonales a nivel; adicionalmente, permitiendo la coexistencia con el sistema de alumbrado público para evitar zonas de penumbra que empeoren las condiciones de seguridad.

La selección de especies arbóreas y de jardinería urbana tiene en cuenta los siguientes factores:

- La filtración del aire, captación de CO₂.
- El drenaje del suelo.
- Ornamentación para las vías urbanas.
- Reducción del ruido.
- Potenciación de los sentidos sensoriales.
- Captación de partículas en suspensión PM10.
- Reducción del estrés urbano.
- Regularización de la temperatura.
- Atracción de fauna.
- Generador de espacio y sub espacios.

Dentro del material vegetal incorporado, la fitotectura de este material cumple con los siguientes conceptos para la selección de especies:

- Sistema radicular: Especies vegetales con raíces profundas, preferiblemente pivotantes, largas y no intrusivas.
- Adaptación a su entorno natural/antrópico: Especies vegetales con características de rusticidad alta, es decir, que se adapten rápidamente al entorno urbano y a las condiciones climáticas en donde se desarrollen eficientemente.
- Porte: Especies vegetales de todos los portes para generar agrupaciones eficientes que permitan condiciones de seguridad tanto natural, social y de infraestructura.
- Longevidad: Especies vegetales que tengan una condición de vida prolongada, minimizando el mantenimiento y el reemplazo.

⁴ Isla de Calor: Condición urbana generada por la impermeabilización de grandes superficies mediante materiales absorbentes de calor, lo cual produce la elevación de la temperatura en áreas carentes de disipadores térmicos.

- Resistencia a la contaminación urbana: Debido a la contaminación actual del sector y las condiciones de la infraestructura por intervenir, especies vegetales que capturen material particulado y capten con mayor eficiencia el CO₂.
- Resistencia al ataque de plagas y enfermedades: Especies vegetales que no presenten ataques de plagas o enfermedades ni deterioren todo el sistema vegetal propuesto.
- Manejo silvicultural: Especies vegetales que cuenten con un manejo silvicultural mínimo, tales como podas y mantenimiento bajo.
- Ornamentación: Para generar sensación de bienestar a los usuarios, especies vegetales con color que llamen su atención.
- Disponibilidad comercial del material vegetal: Especies vegetales de fácil acceso y disponibilidad en viveros y plantaciones distritales.
- Transparencia: Especies vegetales de copa permeable o con una transparencia acorde con las condiciones de seguridad vial y social

9.7 INTERVENCIONES

Las intervenciones de Urbanismo y Paisajismo son de dos tipos, de mejoramiento del espacio público. o de reconfiguración de tipo de calle.

Las intervenciones de mejoramiento del espacio público dan continuidad al funcionamiento actual de la vía en cuestión, conservando el número de carriles vehiculares existentes y regularizando el ancho efectivo de los carriles vehiculares a 3 metros (de acuerdo con el Artículo 155 del decreto 555 de 2021 - Anchos de referencia para las franjas funcionales de las calles del espacio público para la movilidad). Favorecen el ancho útil de otras franjas del espacio público, como la franja de circulación peatonal, dotándola de elementos que permitan cumplir con los principios de la accesibilidad universal.

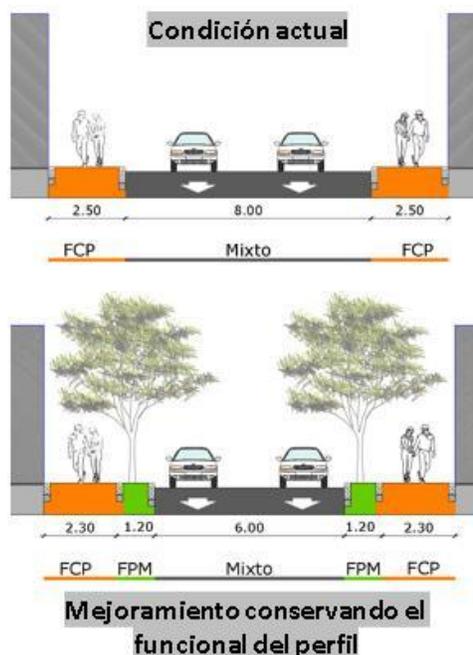


Figura 70. Ejemplo de intervención de mejoramiento en sección transversal

Se desarrolla una reconfiguración de tipo de calle cuando al tramo por intervenir le favorece cambiar su funcionamiento, ya sea porque se potencia la intermodalidad o por la cercanía de equipamientos que generan grandes volúmenes peatonales. La reconfiguración del tipo de calle se manifiesta 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. 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.

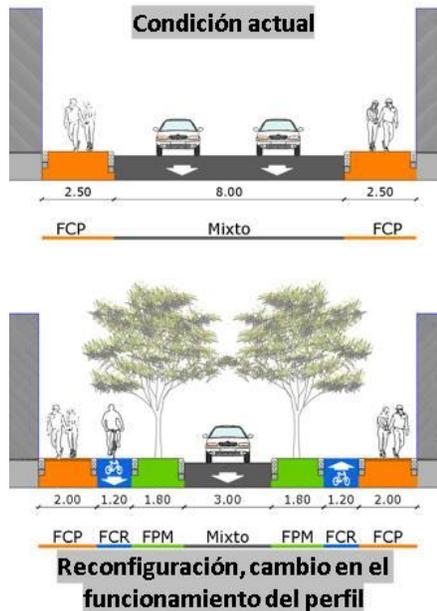


Figura 71. Ejemplo de reconfiguración de tipo de calle en sección transversal

A continuación se presenta, como ejemplo, la aplicación de los criterios del urbanismo y paisajismo en la estación 5:



Figura 72. Ejemplo del urbanismo y paisajismo previsto en la Estación 5

9.8 MULTIMODALIDAD EN ESTACIONES DE LA L2MB

La integración física de los diferentes medios de transporte con las estaciones de la L2MB tienen en cuenta lo siguiente:

- Parqueaderos de bicicletas posicionados en superficie, adyacentes a los accesos a las estaciones. Se proyectan en un único espacio para facilitar su operación y control, y su localización está acorde con la cicloinfraestructura existente o proyectada de acuerdo con los proyectos transversales en el área de implantación de la respectiva estación de la L2MB.
- En las áreas inmediatas a los módulos de acceso a las estaciones de la L2MB, disposición de espacios para taxis y otros sistemas que contribuyan con la multimodalidad.
- Intervenciones alrededor de cada una de las estaciones dentro del límite establecido en las especificaciones técnicas (150 m), incluyendo la ampliación del espacio peatonal y su conexión con paraderos del SITP, peatonalización de calzadas o su conversión a bici-carriles, pasos de tipo pompeyano y, en general, medidas a favor de los peatones y ciclistas.
- A partir de un módulo de acceso satelital, conexiones a estaciones de Transmilenio en determinadas estaciones (E1, E2, E3, E4 y E6), a través de túneles entre el vestíbulo de la estación L2MB y el espacio libre en estación Transmilenio, para conectar con escaleras y ascensor.

A manera de ejemplo, en la siguiente figura se presenta un detalle típico de integración entre los distintos medios de transporte en el área inmediata de una estación de la L2MB:



Figura 73. Detalle de integración multimodal en la Estación 5 de la L2MB

10. SUPERESTRUCTURA DE VÍA

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.16 (Superestructura de vía - Informe)

10.1 VÍAS FÉRREAS PRINCIPALES

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 5100x600x260 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.

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 procederá 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 10 mm y la velocidad de los vehículos de construcción no deberá exceder de 10 km/h.

Los vehículos de construcción no pasarán 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 se 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. Asimismo, 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 embreadas 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 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 numéricamente 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

Al inicio de los trabajos se entregará de forma previa 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 apretado 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.

10.2 VÍAS FÉRREAS DEL PATIO TALLER

La tipología de las vías de la zona de Patio y Taller varía según la función y los equipamientos implantados en ellas.

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 .

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 posicionamiento 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 embastadas 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.

En la zona del 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.

10.3 REPLANTEO DE VÍAS FÉRREAS

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.

10.4 ENSANCHAMIENTO DE LAS VÍAS FÉRREAS

En vía general, dado que el radio mínimo a emplear es 300 metros, no se prevé la necesidad de modificar la trocha de vía estándar.

En el caso de curvas de radio inferior a 200 metros, se propondrá un cuadro con la modificación del ancho de vía en función del radio con objeto de reducir el desgaste tanto del riel como de la rueda. Se evaluará la posible afección en la inscripción del bogie del tren en estas curvas en caso de que el diseño prevea la existencia de juntas (rectas) en este tipo de alineaciones.

10.5 TOLERANCIAS DE MONTAJE

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

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

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

Además en el caso de la vía embebida hay que controlar la inclinación del riel, la tolerancia será:

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

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

Se facilitarán los valores de par de apriete recomendado por el fabricante de los sistemas de sujeción empleados en la construcción de las vías con esta tipología.

11. MATERIAL RODANTE

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.12 (Material rodante - Informe)

Las características de los vehículos con los cuales operará el sistema son las siguientes:

Tabla 17. 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)
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

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo H - Apéndice 5 – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

Características	Datos
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 (1,2m/s ² de 0 a 35km/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

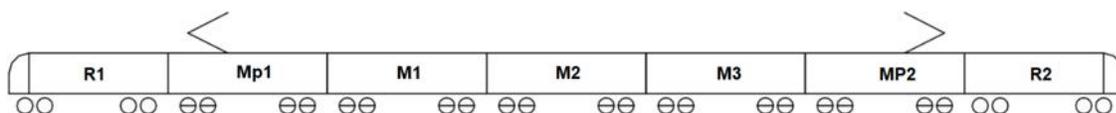


Figura 74. Ejemplo de configuración de tracción (R: remolque, M: motor, Mp: motor con pantógrafo)

- 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 18. 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)

- 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.

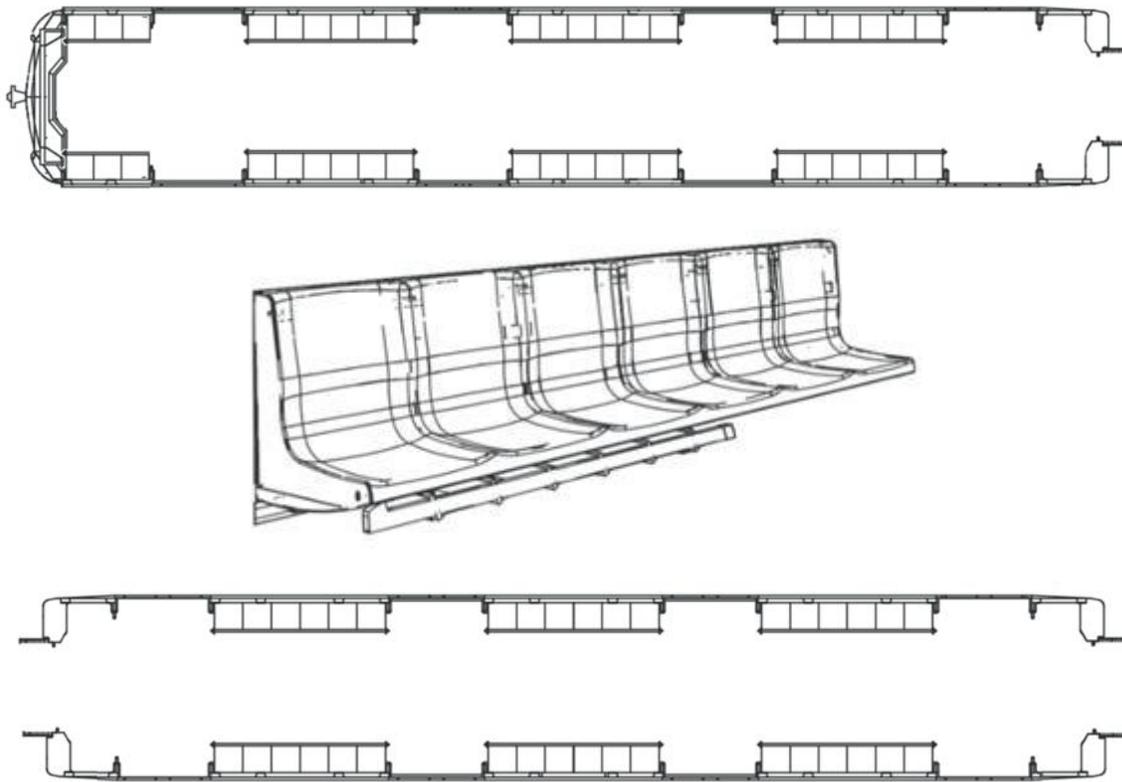


Figura 75. Arreglo de asientos

- 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.

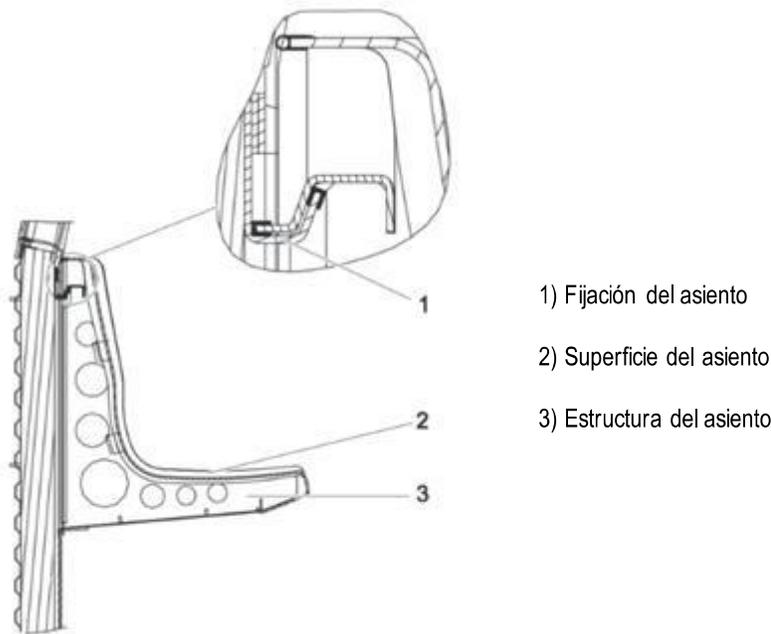


Figura 76. Fijación de un asiento

- 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 19. Requisitos de confort acústico

Velocidad		Parada	40 km/h	60 km/h
Unidad (LpAeq)		T dBA	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
--	----	----	----

- 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.

12. PUERTAS DE ANDÉN

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.11 (Puertas de andén - Informe)

El sistema de Puertas de Andén permite asegurar el aislamiento físico del espacio entre el andén, tren y la vía, evitando:

- Las caídas durante el intercambio de pasajeros entre el andén y el tren y viceversa.
- El atrapamiento de personas entre el tren y las PDA.
- Caídas de pasajeros a la vía.
- El ingreso a la vía de personas no autorizadas y/o animales.
- El arrojado o caída de objetos o basura a la vía

Las Puertas de Andén que serán instaladas en cada andén de las estaciones de la L2MB, consistirán principalmente en:

En andén:

- Una estructura metálica de pilares.
- Cabezales (Headers) que sostengan los mecanismos de puesta en movimiento de las puertas.
- Puertas Deslizantes Motorizadas (PDM), las que deben coincidir con las puertas de un tren detenido en el andén.
- Puertas de salida de emergencia (PSE) batientes; estas puertas deben tener una barra antipánico del lado de la vía para que los usuarios realicen las acciones en caso de emergencia.
- Puertas fin de andén (PFA) batientes para acceder al túnel; estas puertas deben tener una barra antipánico del lado de la vía para que los usuarios o personal de Metro las accionen desde la vía.
- Paneles fijos (PF) y paredes de cierre de las Puertas de Andén en el tímpano (frontera entre el andén y al túnel).
- Un Panel de Control Local ubicado al inicio del andén (lado partida del tren).

Lado vía:

- Tope de “nariz de andén” o fusible instalado al largo del andén para la protección de los elementos de las PDA y para la reducción del espacio entre el andén y el tren.

En el local técnico:

- Gabinete / alojamiento de interfaz con el sistema de señalización ferroviaria por el cual se transmiten informaciones de seguridad
- Gabinete / alojamiento de supervisión de las PDA que recoge los estados y las alarmas de las PDA para comunicarlas al sistema de SCADA en el CCO para la operación y el mantenimiento del sistema de alimentación eléctrica de las PDA
- Gabinete de alimentación de socorro de las PDA con baterías

Las PDA serán en interfaz, para su supervisión, con el sistema SCADA Estación y en interfaz de seguridad, para el comando de apertura y cierre de las PDA y supervisión de seguridad, con el sistema de señalización.

El sistema de puertas de andén de la L2MB está definido y especificado según las condiciones operacionales definidas por el Plan de Operación Preliminar del proyecto (incluyendo el tiempo de apertura y cierre de las puertas y de estacionamiento en las estaciones).

El sistema de Puertas de Andén cumplirá con la normativa especificada por EMB.

Para la L2MB se prevé implementar puertas medianas de altura 2,40 m incluyendo el cabezal que protege el mecanismo de apertura y cierre de las puertas tal como se presenta en la ilustración a continuación. Su andaje se hará al nivel inferior, sobre la nariz del andén. Para evitar una propagación de los humos en caso de incendio, contaminantes hacia el andén y también mantener una buena temperatura de confort para los pasajeros esperando en el andén, se considera necesario cerrar la parte superior de las puertas con un material que será definido, suministrado e instalado como parte de las obras civiles (OO.CC).

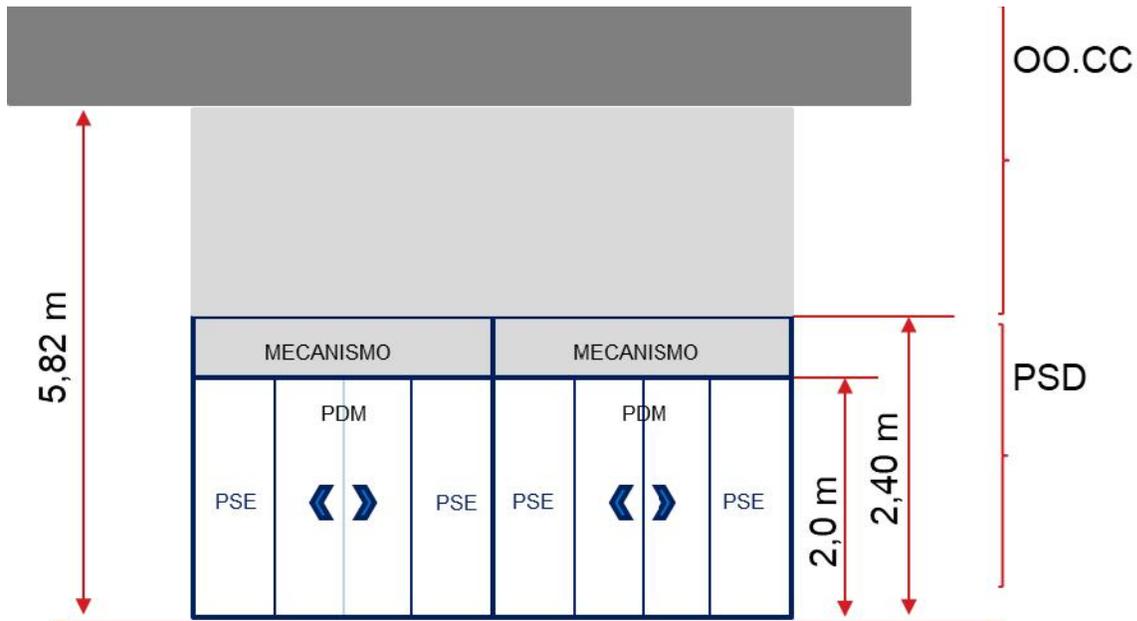


Figura 77. - Representación esquemática del sistema de Puertas de Andén propuesto para la L2MB

Para evitar una generación de choques eléctricos a los pasajeros por diferencia de potenciales que pueden ocurrir entre el tren (potencial riel) y el andén (potencial tierra) se procederá a la aislación de las PDA del andén y conectarla al potencial riel, mismo potencial que el tren tal como se muestra en la siguiente figura:

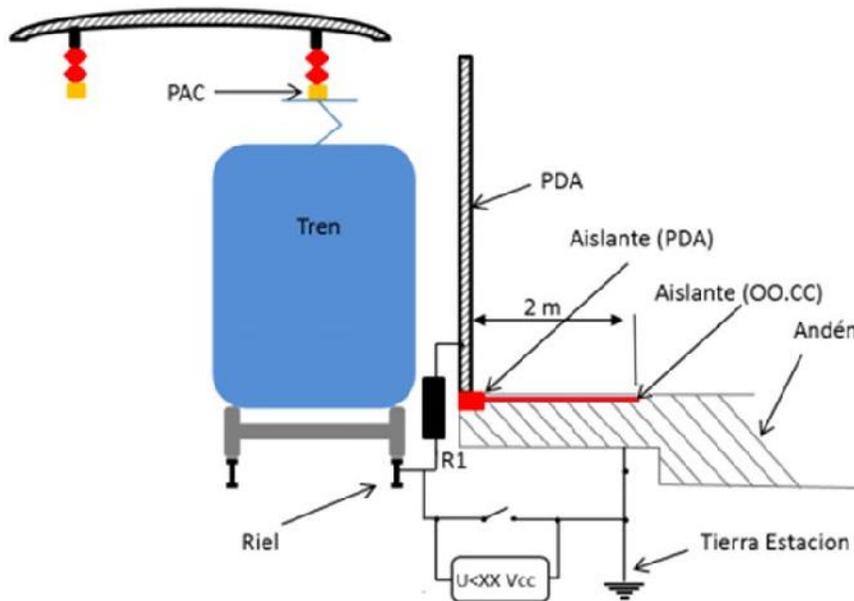


Figura 78. - Aislación de las PDA

13. SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.9 (Señalización y control de trenes - Informe)

El sistema de señalización elegido para la L2MB es similar al sistema de señalización de la PLMB, y está basado en la tecnología CBTC.

El sistema CBTC (Communication Based Train Control), traducido: Sistema de Control de Trenes Basado en Comunicaciones, es un sistema de control y de señalización ferroviaria que hace uso de comunicaciones radioeléctricas bidireccionales entre los equipos a bordo del tren y los equipos en tierra para gestionar el tráfico ferroviario.

El control de trenes basado en comunicaciones (CBTC) es la solución de señalización dominante para las líneas de metro totalmente automatizadas: 72% de los km del mundo de metros automatizados son operados bajo sistemas CBTC. 87% de la infraestructura de Metro totalmente automatizada inaugurada en la última década está equipada con el sistema CBTC (Fuente: Statistic Brief, UITP, 2018).

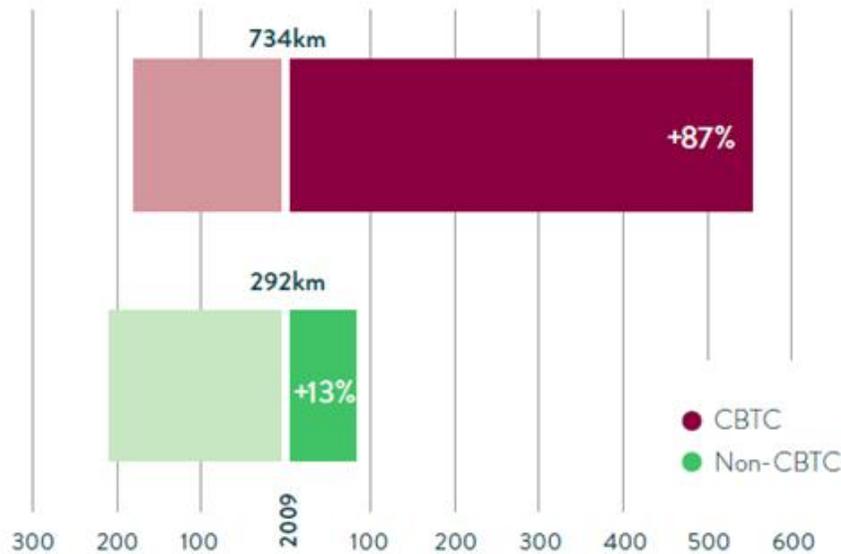


Figura 79. - Soluciones de señalización CBTC vs no CBTC para metros totalmente automatizados, medido km equipado y % de km inaugurado en la última década (fuente: Statistic Brief, UITP)

Formalmente, se puede definir un sistema CBTC como un sistema de control automático y continuo del tren, que utiliza una localización principal precisa de los trenes, independiente de circuitos de vía.

La localización de cada material equipado determinada de forma autónoma es transmitida por cada tren hacia los equipamientos fijos que gestionan la autorización de las circulaciones.

La precisión de la localización embarcada se expresa en una doble vertiente:

- Por un lado, el grado de aproximación de la zona considerada ocupada por el tren se acerca a la longitud real del tren.
- Por otro lado, la ocupación física va siguiendo el avance del tren, sin necesidad de ceñirse a zonas de detección fijas.

De esa forma, la posición de los trenes en la línea es conocida con mayor precisión que en los sistemas de control tradicionales (que utilizan circuitos de vía o contadores de ejes). Así, la gestión del tráfico se lleva a cabo de una forma más eficiente y segura.

Los sistemas CBTC están basados en el intercambio continuo y de alta capacidad de datos entre el tren y la vía. Se utilizan procesadores integrados tanto en el tren como en la vía, capaces de implementar funcionalidades de seguridad para la protección de la marcha de los trenes entre ellos (control de velocidad y control del punto de parada seguro del tren - ATP), y opcionalmente funcionalidades de conducción automática: aceleración / frenado (ATO) y de supervisión (ATS).

Los estudios y la experiencia en operación han mostrado que el CBTC, cuando se compara con sistemas de señalización tradicionales, ofrece las siguientes ventajas:

- Costos de inversión y de operación más bajos
- Capacidades más altas e intervalos más cortos en línea sin sacrificar la velocidad de operación comercial
- Confiabilidad más alta
- Una mejor supervisión y un mejor control de las operaciones de los trenes
- Una mejor flexibilidad del programa de explotación
- Una reducción de los incidentes debidos a los pasajeros por la conjunción con las puertas de andén
- Una reducción del consumo energético debida a la sincronización de las fases de aceleración y frenado de los trenes
- Una mejor regularidad del intervalo

13.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA CBTC Y SU EVOLUCIÓN

Al inicio, el sistema CBTC abarcaba sólo las funciones de control automático (ATC) y venía sobrepuesta al sistema de señalización clásico. Una interfaz fue definida para permitir hacer funcionar ambos sistemas de manera eficiente y segura durante la operación nominal. En este caso, debido a la falla del sistema CBTC, el sistema de señalización podrá seguir funcionando para asegurar el modo degradado en conducción manual. Con la evolución de las tecnologías informáticas y de redes, los fabricantes han empezado a entregar el Enclavamiento (IXL) y el sistema de supervisión ATS.

Como la diversidad de proyectos y las soluciones del fabricante sugieren un sistema CBTC definido por el estándar IEEE 1474.1, éste puede tener diferentes arquitecturas.

En el mercado actual, se puede distinguir las siguientes arquitecturas del sistema CBTC como parte de las soluciones propuesta por los principales proveedores:

13.1.1 Arquitectura 1: Típica con detección secundaria

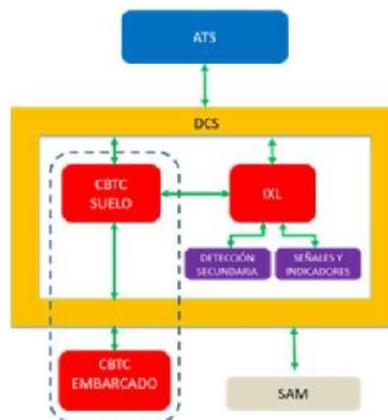


Figura 80. Arquitectura 1

Arquitectura Típica de las Soluciones de los Proveedores (ALSTOM, SIEMENS y Ex ANSALDO). Esta arquitectura corresponde a la arquitectura convencional que se puede adaptar a la señalización existente de una línea. Adecuada para proyectos de re-señalización (Brownfield) que requieren mantener la señalización secundaria para mantener la operación mixta.

13.1.2 Arquitectura 2: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC con detección secundaria

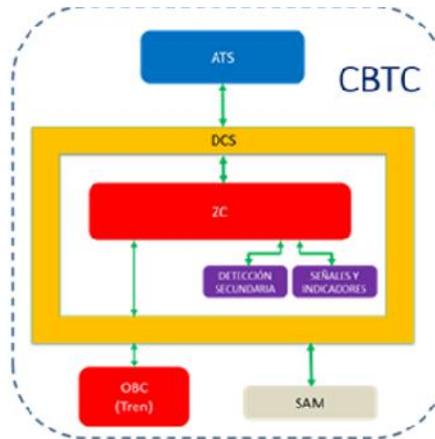


Figura 81. Arquitectura 2

Arquitectura típica de la solución Seltrac 40 de Thales implementada en el proyecto de Santiago L3/6 y también a la arquitectura del producto Cityflo 650 de EX Bombardier. Las funciones ATP y IXL están implementadas en el controlador de Zona. El controlador embarcado (OBC) comunica la posición del tren y su estado al ZC y al ATS a través del backbone Radio

13.1.3 Arquitectura 3: con las funciones ATP-IXL bajo el equipo ZC sin detección secundaria

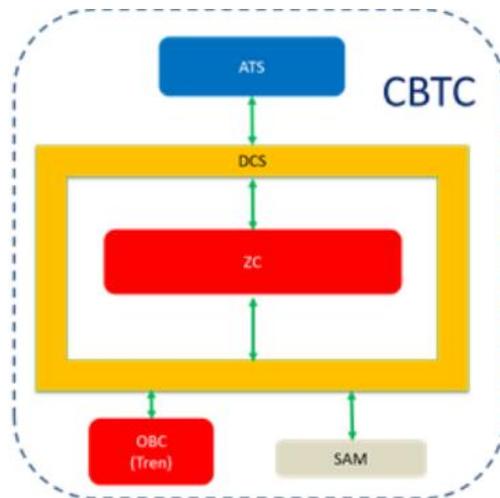


Figura 82. Arquitectura 3

Arquitectura típica de la solución Seltrac 40 de Thales y CITYFLO 650 de Ex Bombardier. Las funciones ATP y IXL están implementadas en el controlador de Zona. El controlador embarcado (OBC) comunica la posición del tren y su estado al ZC y al ATS. La solución no necesita detección secundaria, los trenes y vehículos no comunicantes realizan los movimientos bajo procedimientos operacionales estrictos con uso de funcionalidades de protección parte de la solución. A pesar de estas funcionalidades, la operación segura, en este caso, queda bajo la responsabilidad del operador. En la mayoría de las líneas que funcionan bajo esta arquitectura han elegido equipar los vehículos de mantenimiento con un CBTC embarcado con solo ATP o simplificado (solo envió de la posición al ZC).

13.1.4 Arquitectura 4: CBTC centrada en el tren (Urbalis Fluence)

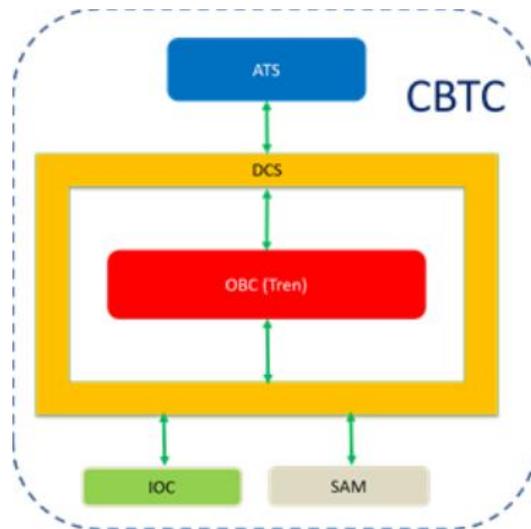


Figura 83. Arquitectura 4

Última Arquitectura CBTC simplificada, desarrollada por Alstom para el proyecto VAL de Lille Línea 1 el cual está en curso de realización. Esta arquitectura corresponde a la nueva generación del CBTC llamada CBTC 2.0 donde las funcionalidades del controlador de zona (ZC) son transferidas principalmente al controlador a bordo del tren (OBC) con una parte de control/comando de las agujas y Puertas de Andén por ejemplo a los controladores de Entradas/Salidas ubicados en cada estación. El espaciamiento entre trenes está basado en la comunicación directa entre los trenes.

13.1.5 Recomendación para la L2MB

Bien que la arquitectura 4 presentada anteriormente parece innovadora y simplificada, y podrá ser el futuro de las soluciones CBTC, su viabilidad, rendimiento y seguridad están aún por demostrar. En consecuencia, en el proyecto L2MB se implementarán las soluciones basadas en arquitecturas tipo 1 o 2 más desarrolladas en las redes de Metro y probadas.

13.2 PRINCIPIOS GENERALES

El estándar IEEE 1474 define “Communications-Based Train Control” como sistema de control automático de tren cuya inteligencia va mucho más allá del manejo de un tren básico.

El CBTC se basa sobre principios específicos:

- La determinación de la posición de tren de alta resolución, independiente del circuito de la vía
- Una comunicación de datos continua, bidireccional y de alta capacidad (por radio, cable radiante o por circuitos inductivos)
- Un sistema ATC que garantiza el control automático de la circulación de trenes en seguridad y la gestión de la circulación de trenes
- Una protección de Tren Automática (ATP), subsistema del ATC que asegura una protección segura de los movimientos de trenes y de su velocidad
- Un ATO subsistema del ATC que asegura las funciones de movimiento de circulación y de los trenes tomando en cuenta las órdenes de regulación (esta función no es de seguridad)
- Un sistema ATS que provea supervisión de todos los subsistemas, regulación de los trenes y mando de los itinerarios

En la mayoría de casos, el sistema a bordo calcula en tiempo real las distancias de frenado (cada tren organiza su seguridad). En cualquier momento la Inteligencia Central puede tomar la mano de la flota entera al CBTC a nivel de (velocidad, gama, ahorro de energía, otros). Eso permite un diálogo continuo entre el tren equipado y el controlador de la zona ubicado fuera del tren que maneja el tráfico y proporciona una autorización de movimiento a los trenes localizados en su área.

Es este intercambio continuo de información entre el equipo suelo y el tren que hace que el sistema de bloque móvil sea posible.

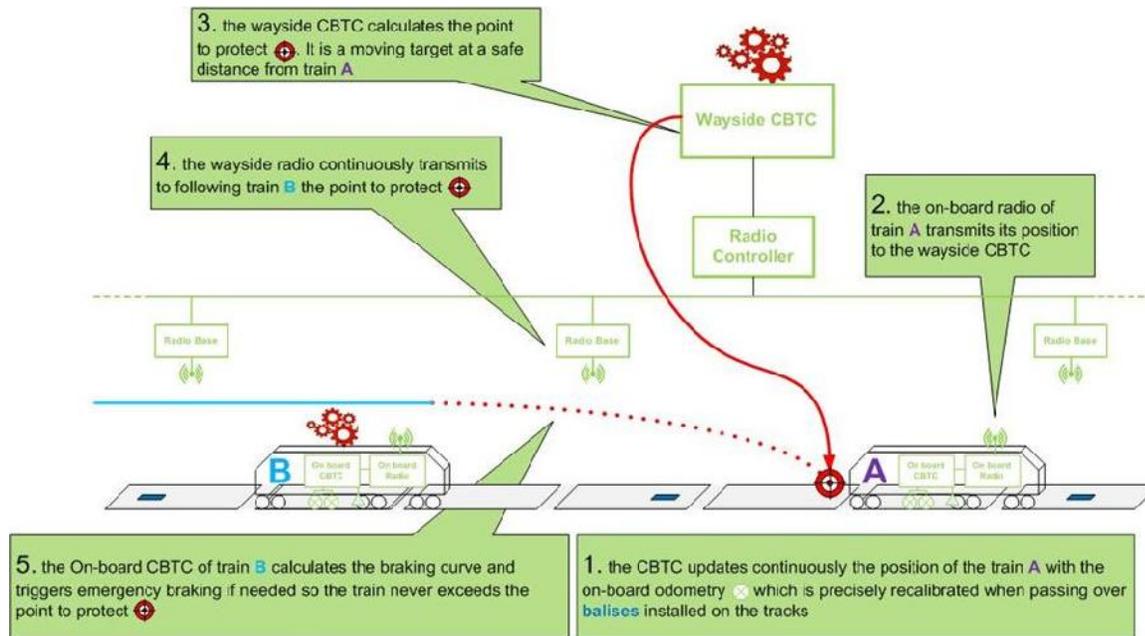


Figura 84. - Diagrama simple del CBTC (fuente: Siemens)

13.2.1 Intervalo de diseño mínimo

El rendimiento global de una línea UTO en términos de operación es un compromiso entre el intervalo mínimo, la velocidad promedio y el consumo de energía.

Intervalo mínimo: el intervalo teórico mínimo es por lo general 75s. En realidad, el intervalo práctico mínimo es 90 s en el mejor de los casos. El intervalo mínimo depende de muchos factores, como la longitud del tren, la ubicación de la zona de retorno, el tiempo de detención en estación, la estrategia de retorno de los trenes, las características de aceleración y freno del material rodante, la velocidad promedio, consumo de energía, entre otros.

Una tarea importante para el proveedor de un sistema UTO es determinar el desempeño de su sistema en la línea, realizando simulaciones de desempeño globales de la línea, integrando todos estos parámetros.

13.2.2 Operación inatendida

El Grado de Automatización (GoA) de una línea está definido en la norma IEC 62290-1. Está organizado en cinco niveles de automatización. GoA 0 corresponde a la conducción manual y GoA 4 es la operación de los trenes totalmente automática sin personal a bordo (UTO).

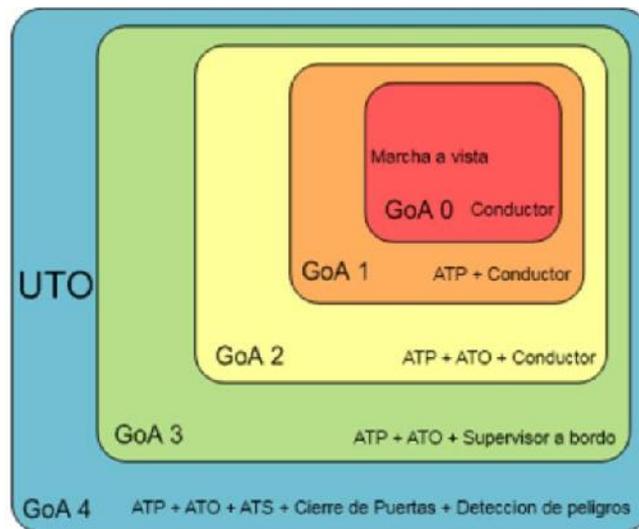


Figura 85. - Niveles de automatización

El esquema anterior muestra que cada nivel de automatización agrega nuevas funciones automáticas al nivel anterior. El cuadro rojo muestra las funciones básicas que corresponden a la conducción manual a la vista y el cuadro azul muestra el nivel más alto de GoA que es el modo de conducción UTO.

Las principales funciones que forman parte del UTO son las siguientes:

- ATP: (Automatic Train Protection) función de seguridad, de protección contra el exceso de velocidad, colisión, franqueamiento de señal al rojo y otros
- ATO: (Automatic Train Operation) función para poner en marcha o parar el tren. Esta función realiza todas las operaciones incluso el cierre de las puertas y el arranque del tren.
- ATS: (Automatic Train Supervision) función para el establecimiento de los itinerarios y la regulación del tráfico incluyendo el ahorro de energía.
- Control/mando de las puertas del tren y las puertas del andén durante la subida y bajada de los pasajeros

Y además:

- Prevenir los daños en caso de intrusión entre el tren y el andén a través del sistema de detección.
- Garantizar la seguridad para establecer la marcha de los trenes.
- Garantizar la seguridad en caso de operación degradada y ayudar a la recuperación del servicio.
- Garantizar la detección y manejo de situaciones críticas (detección de humo, descarrilamiento, pérdida de la integridad del tren, manejo de evacuación).
- Garantizar la información a los pasajeros (a bordo del tren y en la estación).

La automatización del UTO hace que se ejecuten todas las órdenes desde el centro de operación. Gracias a la tabla de horarios programada por el operador, los trenes ubicados en las cocheras, “duermen” y “se despiertan” solos, y se inyectan y retiran de la línea según los requerimientos del servicio.

Cuando el servicio está terminado, los trenes van directamente a las cocheras pasando por la máquina de lavado si así está programado. Cuando un tren despierta, pruebas dinámicas y estáticas son realizadas automáticamente antes de poner en operación un tren UTO (por ejemplo, prueba de freno de emergencia (estático), puertas, auto test de cada subsistema del tren y del ATC).

La L2MB operará con el nivel de GoA 4.

14. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.13 (Sistema de alimentación eléctrica - Informe)

14.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN DE ALIMENTACIÓN DE TRACCIÓN 1500V

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 86. 1500 V con catenaria rígida en túnel

La alimentación de alta tensión para la L2MB se realizará mediante dos SER, 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

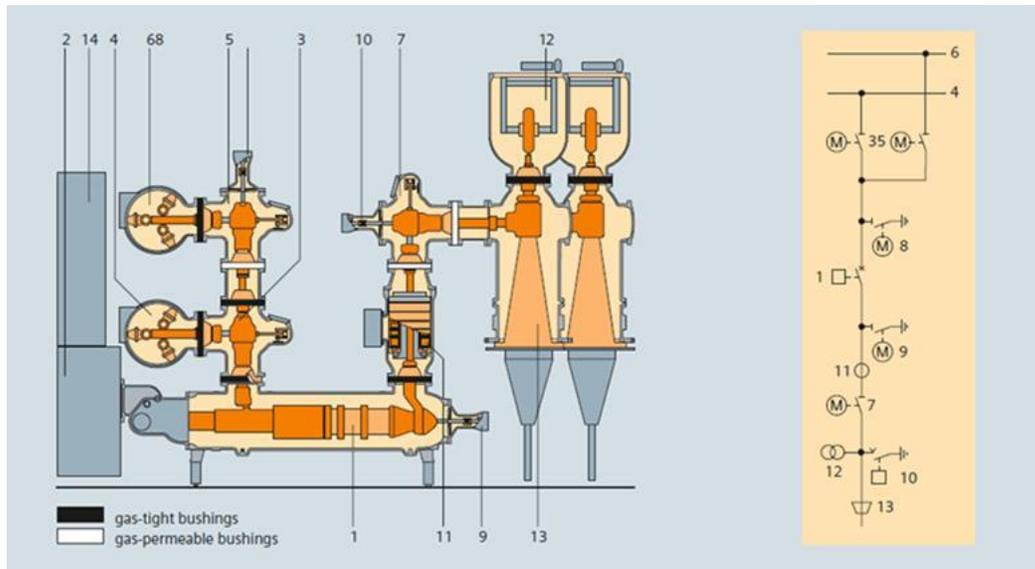


Figura 87. Componentes y unilineal de SER GIS no redundante

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

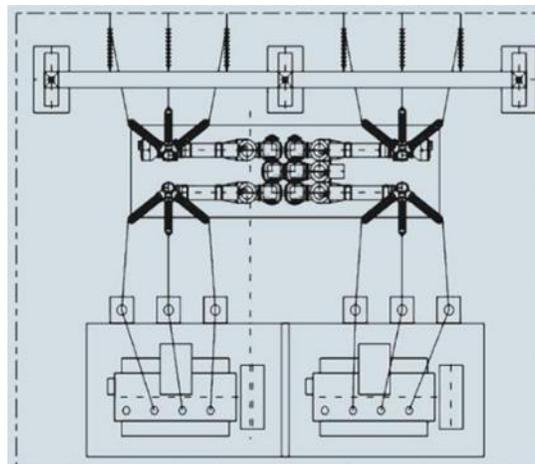


Figura 88. Solución GIS de SER redundante

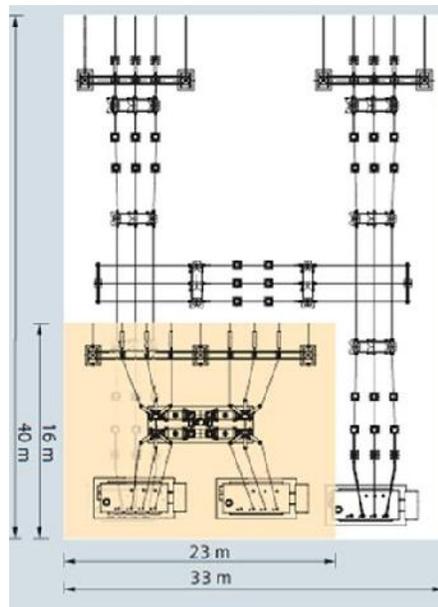


Figura 89. Unineal de SER redundante

14.2 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:

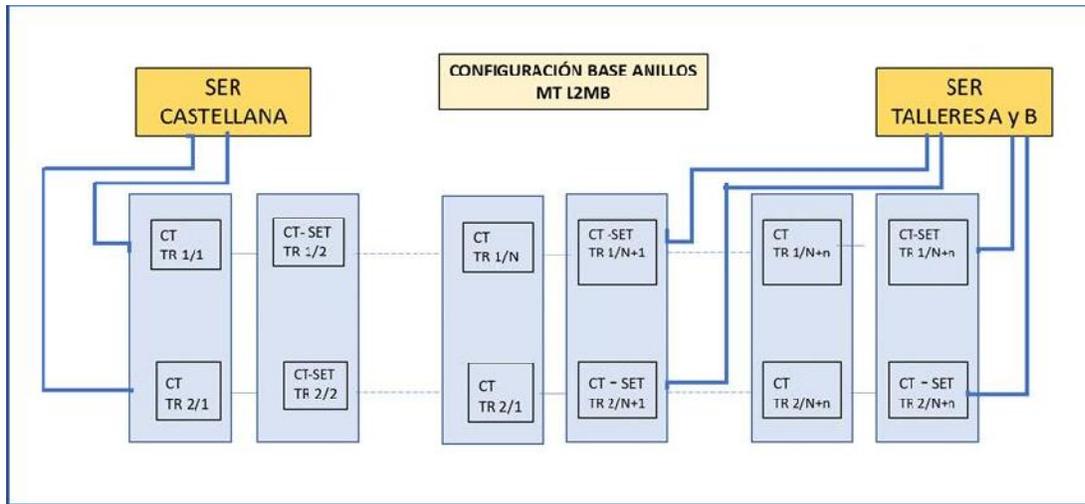


Figura 90. Configuración base de 2 anillos de MT

14.2.1 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 20. 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		

14.2.2 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) para las estaciones, el patio taller, las SER y el CCO.
- 480V/277V (3F+N) para la utilización de ventilación forzada y algunos equipos del patio/taller.

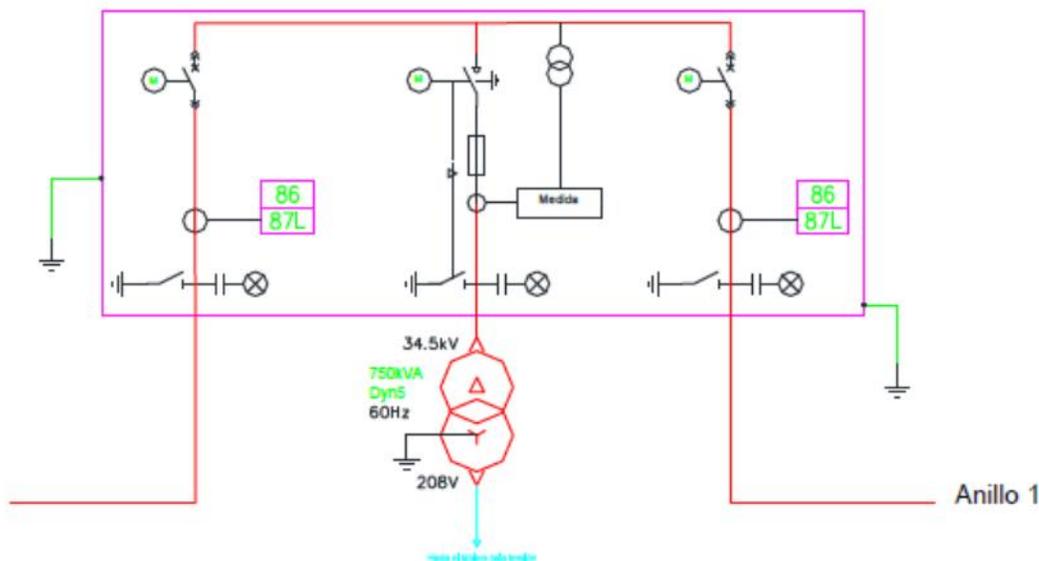
En el caso de las SER y el CCO para efectos de tener redundancia, los CT deberán tener dos transformadores, con los dispositivos que permitan una transferencia de las cargas en caso de que uno de ellos esté fuera de servicio.

En el Patio Taller se dispondrá de un CT 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.



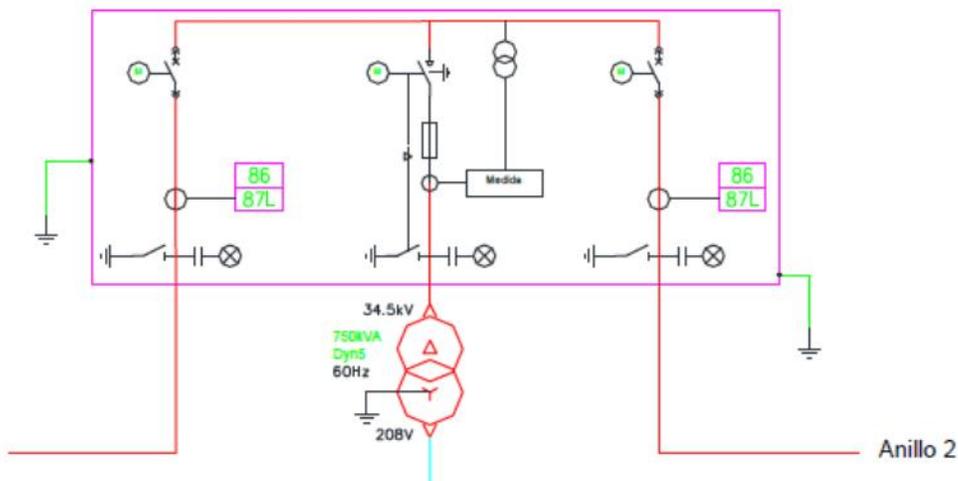


Figura 91. Interruptores y barras principales de CT anillo 1 y 2

14.3 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.

14.4. 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.

15. TELECOMUNICACIONES

Véase en Anexo A.10:

- Documento 10.10 (Telecomunicaciones - Informe)

Los subsistemas de telecomunicaciones se definen considerando una lista de aspectos y criterios que se contextualizan para definir los requerimientos asociados a cada uno de ellos. Estos aspectos y criterios son los siguientes:

- Objetivos generales.
- Objetivos específicos.
- Criterio operacional.
- Obsolescencia tecnológica.
- Confiabilidad de la tecnología.
- Marco Normativo.
- CAPEX y OPEX

Cada uno de estos puntos debe estar considerado por cada subsistema, con el fin de definir el propósito, el esperable y la función a cumplir como sistema de apoyo a explotación y que permita a los usuarios tener una experiencia en línea con los objetivos y calidad del proyecto.

15.1 ASPECTOS CLAVES CONSIDERADOS EN LOS DISEÑOS DE FACTIBILIDAD

El sistema de telecomunicaciones está orientado a:

- Entregar herramientas para la explotación.
- Entregar las plataformas de comunicación que permitan la integración de sistemas del proyecto.
- Tener una alta disponibilidad y una visión de tecnologías de misión crítica.
- Transversalidad con los diferentes subsistemas.

Es por ello que se hace vital definir cada subsistema, dándole un propósito y un rol dentro de la operación del sistema. Esto implica poder personalizar la operación con herramientas que permitirán a los usuarios percibir el confort y la experiencia de viaje de un Metro de clase mundial. Los ejes que se perseguirán son los siguientes:

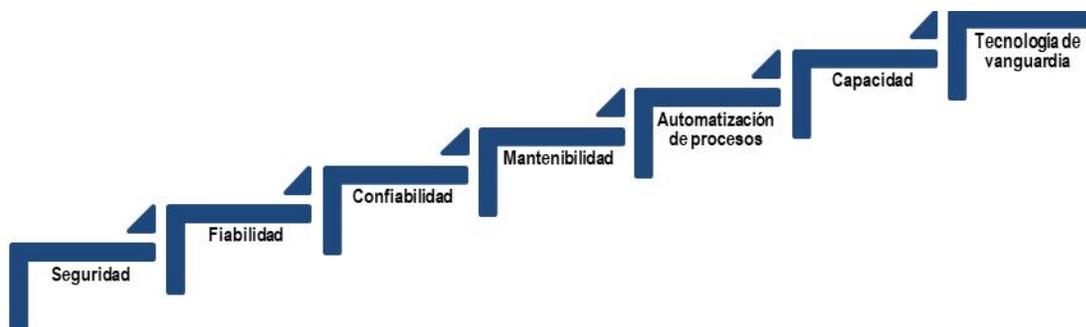


Figura 92. Ejes para la factibilidad

15.2. PROCESO DE FORMULACIÓN DE RECOMENDACIONES

Cada subsistema de telecomunicaciones fue analizado por una metodología multicriterio, que permitió definir opciones y soluciones para cada subsistema. Estos criterios son:

- Criterios operacionales
- Obsolescencia tecnológica
- Tecnología no propietaria.
- Niveles de integración.
- Estado del Arte en redes de Metro

15.2.1 Criterios operacionales

Es fundamental que cada subsistema esté en línea con los criterios operacionales de la L2MB; esto implica que el modelo operacional entregue lineamientos claros para el sistema de telecomunicaciones y que permitan definir los recursos necesarios para operar la L2MB.

15.2.2. Obsolescencia tecnológica

Dentro de los parámetros a considerar como solución tecnológica para cada subsistema, es importante que la tecnología como concepto esté vigente y en función de proyecciones permita definir una continuidad en un corto y mediano plazo. Para ello, deben considerarse tres términos importantes para el análisis:

- End of life (término de vida del producto)
- End of sale (terminó venta de una línea de producto)
- Upgrade o cambio tecnológico.

15.2.3 Tecnologías no propietarias

Un parámetro no menor es que las tecnologías definidas en los subsistemas no sean propietarias; esto implica que no genere que la L2MB sea cautiva de un solo proveedor tecnológico.

En el caso de que la tecnología sea propietaria, se debe evaluar el factor de integración con el resto de los sistemas y que a nivel de fabricante se pueda contar con varias opciones considerando las API y SDK respectivas.

15.2.4 Niveles de integración

Las tecnologías por elegir deben inicialmente ser abiertas, de manera que permitan una fácil integración y que los desarrollos sobre ellas no generen un esfuerzo importante y mano de obra demasiado especializada.

15.2.5 Estado del arte en redes de Metro

Dentro de este análisis multicriterio, es vital contar con la información del desempeño de la tecnología en las redes de Metro, comparando para ello los casos de éxito, desempeños y nuevas tendencias, y aportando todo *know how* a este proyecto de las nuevas tecnologías en un entorno de Metro.

15.3 RECOMENDACIONES PARA LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

15.3.1 Sistema IHM de Comunicaciones (IHM COM)

15.3.1.1.1 Módulos de la interfaz gráfica

Se propone que la interfaz gráfica esté compuesta de los siguiente módulos:

- [Módulo 1] Procesamiento de las alarmas de los equipos en Tierra y embarcados.
- [Módulo 2] Vista general de toda la línea principal con la representación de la línea principal, de las Estaciones y el seguimiento de la evolución de los trenes.
- [Módulo 3] Vista detallada a nivel de Estación y de Tren.
- [Módulo 4] Pantalla dedicada a la visualización CCTV.
- [Módulo 5] Visualización del estado de funcionamiento para los subsistemas de comunicación.
- [Módulo 6] Gestión de llamadas de Interfonía y escucha discreta.
- [Módulo 7] Utilización de la sonorización en la Estación y en los trenes.
- [Módulo 8] Visualización de la información a los pasajeros en todas las pantallas disponibles.
- [Módulo 9] Comunicaciones de radiocomunicaciones de voz y datos.
- [Módulo 10] Comunicación de telefonía.
- [Módulo 11] Explotación de los grabadores con utilización de archivos de video, sonido y alarmas.
- [Módulo 12] Configuración y parametrización.
- [Módulo 13] Control de Acceso y Alarmas de intrusión
- [Módulo 14] Peaje
- [Módulo 15] Reconocimiento Facial

15.3.1.1.2 Versión de IHM COM para dispositivos móviles o tablets

En función de generar una mayor flexibilidad en la operación de la estación, se propone reemplazar las IHM de COM que actualmente se encuentra en la sala de control para la PLMB, por una versión móvil que permita al encargado de la estación mayor movilidad.

Esta versión ligera solo tendrá los módulos que son aplicables según modelo de operación al encargado de la estación.

15.3.2 Red multiservicios (RMS)

Siguiendo las últimas tendencias con respecto al diseño de arquitecturas de redes, se recomienda que existan dos RMS, separadas en equipamiento y con tecnologías acordes a sus prestaciones. Conceptualmente se definen en:

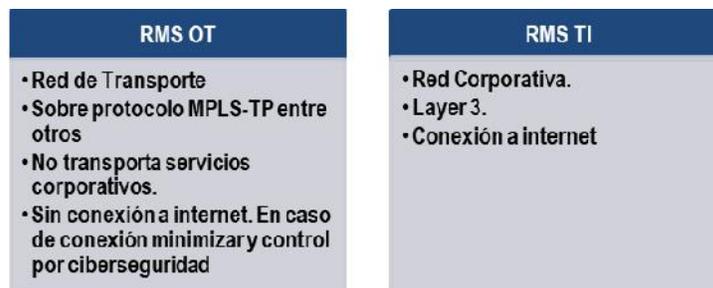


Figura 93. Tipos de RMS

15.3.3 Plataforma colaborativa y comunicaciones unificadas IP-telefonía

Siguiendo las últimas tendencias con respecto al diseño de arquitecturas de redes, se recomienda que existan dos telefonías IP, separadas en equipamiento y con tecnologías acordes a sus prestaciones. Conceptualmente se definen en:

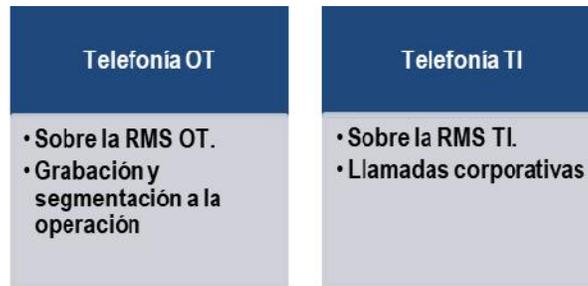


Figura 94. Tipos de telefonía

15.3.4 Red de banda ancha

En función de lo que fue especificado para la PLMB y del contexto del proyecto, se sugiere mantener la división de una RBA para el Tren y una RBA WIFI que permita entregar el servicio de conexión inalámbrica. Para ello las consideraciones son:

RBA Tren

- Esta RBA solo se conectará a la RMS OT.
- No tendrá conexión a internet

RBA WIFI

- Existirán dos RBA WIFI (OT y TI), el alcance geográfico es estaciones.
- Sólo RBA WIFI TI tendrá conexión a internet.

La recomendación de no contar con internet pública dentro de los trenes está motivada por:

- Duplicar infraestructura en el túnel para separar las RBA (OT y TI).
- Tener un servicio e infraestructura competitiva frente a los operadores celulares.
- Entregar un gran ancho de banda distribuido en una pequeña zona geográfica.
- Niveles altos de radiofrecuencia en el túnel. Interacción con el CBTC.
- Establecer un puesto exclusivo que controle la ciberseguridad.

15.3.5. Sistema Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)

El sistema de CCTV recomendado está caracterizado por los siguientes aspectos:

- Utilizar protocolo de compresión H265. Reducción de un 50% de la compresión de video
- Incluir como mínimo las siguientes funciones de video analítica:
 - Alarma
 - Observación
 - Detección de Objeto Olvidado
 - Reconocimiento
 - Identificación
 - Seguimiento de personas
 - conteo de personas
- Para la detección facial se recomienda estar en interfaz con la policía para actualizar bases de datos. Esto implica un análisis legal para el manejo de bases de datos.
- Emplear video analítico para la protección de los activos en talleres, perímetro e intrusión.

15.3.6 Otros temas a considerar por subsistemas

- Para el subsistema TETRA se sugiere definir la banda de operación junto con el organismo competente.
- Para el subsistema SAP se sugiere un STI de 0.6 en el 90% de las dependencias y el 10% restante a 0,5.
- Metodología STIPA para la verificación del STI mediante una grilla de 12x12 metros o similar.
- Se propone una especificación general que contenga entre otros lo siguiente:
 - Canalizaciones
 - Requerimientos ambientales
 - Requerimiento normativo
 - Ciberseguridad
 - Requerimientos de montaje
- Para el subsistema cronometría se propone agregar el protocolo PTP.