

MEMORIA. RESÚMENES EJECUTIVOS

DOCUMENTO

MEMORIA





ÍNDICE

1	ANTEC	EDENTES	11
2	OBJET	O DEL PROYECTO	17
3	DESCR	IPCIÓN DEL PROYECTO	18
3.1	l Desc	ripción general	18
3.2	2 Norm	nativa	24
3.3	3 Carto	ografía y topografía	24
	3.3.1	Red Geodésica	24
	3.3.2	Enlace Planimétrico	24
	3.3.3	Enlace Altimétrico	25
	3.3.4	Implantación de la Red Básica	25
	3.3.5	Implantación de la Red Secundaria	25
	3.3.6	Levantamiento Detallado	25
	3.3.7	Cartografía	26
3.4	4 Geol	ogía y geotecnia. Plan de Auscultación y Control	26
	3.4.1	Características geológicas de la PLMB	26
	3.4.2	Campaña de investigación geotécnica	28
	3.4.3	Caracterización geotécnica del trazado	28
	3.4.4	Subsidencias regionales en el área afectada por la PLMB	31
	3.4.5	Estudio de riesgo sísmico	31
	3.4.6	Estudio de materiales	31
	3.4.7	Licuación	32
	3.4.8	Geotecnia de las obras de tierra. Patios y Talleres	32
	3.4.9	Geotecnia de las estructuras, estaciones y túnel entre pantallas	32
	3.4.10	Geotecnia del ramal técnico	34
	3.4.11	Estudio hidrogeológico	34
	3.4.12	Estudio de gasolineras	35
	3.4.13	Presencia de gas metano. Distribución y medidas paliativas	36
	3.4.14	Profundidad substrato terciario	36
	3.4.15	Plan de auscultación y control	37
3.5	5 Estud	dio de demanda	39

3.5.1	Introducción	39
3.5.2	Resultados de Demanda	40
3.6 Eva	lluación de alternativas entre Avenida 68 y San Victorino	43
3.6.1	Introducción	43
3.6.2	Formulación y caracterización de alternativas	43
3.7 Est	udio funcional de la línea	45
3.8 Clin	natología e hidrología	48
3.9 Ged	ometría y trazado	50
3.9.1	Parámetros de diseño del trazado	50
3.9.2	Descripción del trazado	51
3.9.3	Condicionantes y puntos singulares del trazado	52
3.9.4	Afección al ferrocarril actual	53
3.10 Mov	vimiento de tierras	53
3.10.1	Movimiento de tierras de la obra lineal	53
3.10.2	Movimiento de tierras de estaciones	53
3.10.3	Movimiento de tierras de talleres y cocheras	54
3.10.4	Tablas resúmenes del movimiento de tierras	54
3.11 Sup	perestructura	58
3.11.1	Tendido de vía en túnel	58
3.11.2	Tendido de vía en viaducto	59
3.11.3	Tendido de vía en Talleres y Cocheras	60
Drenaje		61
3.12 Est	ructuras	62
3.12.1	Puentes peatonales	63
3.12.2	Estructura de la Calle 26	64
3.12.3	Estructuras de la Calle 127	65
3.12.4	Parqueadero del Parque del Tercer Milenio	66
3.12.5	Box Culverts	66
3.12.6	Estructuras del Ramal Técnico	66
3.13 Túr	nel	69
3.13.1	Introducción	69
3.13.2	Procedimientos constructivos	70
3.13.3	Descripción tuneladora y dovelas	70
3.13.4	Descripción túnel entre pantallas	72
3.13.5	Descripción ejecución con método convencional	76





3.13.6 Análisis de subsidencia y afecciones a edificaciones/estructuras	77	3.22.3 Equipamiento No CBTC	129
3.13.7 Tratamientos del terreno	78	3.22.4 Equipamiento embarcado	132
3.13.8 Instalaciones de obra	82	3.22.5 Sistema de comunicación radio CBTC	133
3.13.9 Pozo de ataque del Parque del Tercer Milenio	82	3.22.6 Talleres y Cocheras	133
3.13.10 Instalaciones no ferroviarias	84	3.23 Sistema de protección a pasajeros (puertas de andén)	134
3.13.11 Salidas de emergencia	86	3.23.1 Generalidades	134
3.13.12 Impermeabilización	88	3.23.2 Componentes	135
3.13.13 Hidrogeología	88	3.23.3 Esquema general del sistema puertas de andén	135
3.13.14 Seguridad y salud	89	3.23.4 Diseño	136
3.13.15 Inventario de edificaciones	89	3.23.5 Funcionalidades	136
3.14 Estaciones	90	3.23.6 Funcionamiento general (estándar)	136
3.14.1 Estructuras de las estaciones	90	3.23.7 Funcionamiento del Sistema en Modo Degradado	137
3.14.2 Arquitectura de las estaciones	94	3.23.8 Arquitectura del sistema	137
3.14.3 Instalaciones de las estaciones	99	3.23.9 Esquema de dimensionamiento y distribución puertas emergencia y	puertas deslizantes 137
3.15 Talleres y cocheras	100	3.24 Sistemas de comunicaciones	138
3.16 Puesto Central de Control (PCC)	103	3.24.1 Sistema de Billetaje	138
3.16.1 Estructura del Puesto Central de Control (PCC)	103	3.24.2 Sistema de Interfonía	140
3.16.2 Arquitectura del Puesto Central de Control (PCC)	104	3.24.3 Sistema de Megafonía	141
3.16.3 Instalaciones del Puesto Central de Control (PCC)	105	3.24.4 Sistema de Transmisión de Voz y Datos	143
3.16.4 Equipamiento del PCC	107	3.24.5 Sistema de Radiocomunicaciones	144
3.17 Diseño urbano paisajístico	113	3.24.6 Sistema de Cronometría	145
3.18 Desvíos de tráfico	116	3.24.7 Sistema de Información al Viajero (SIV)	146
3.19 Interferencias con redes	117	3.24.8 Sistema de Telefonía	147
3.19.1 Redes Secas	117	3.24.9 Sistema de Videovigilancia	148
3.19.2 Redes Húmedas	119	3.24.10 Sistema Control de Accesos	150
3.20 Predios	121	3.24.11 Sistema de Supervisión Unificada	151
3.21 Sistema de alimentación eléctrica	122	3.25 Gestión RAMS	152
3.21.1 Subestaciones receptoras	123	3.26 Material Rodante	155
3.21.2 Subestaciones de tracción	123	3.27 Gestión de Interfaces	157
3.21.3 Centros de transformación	124	3.28 Instalaciones de obra	160
3.21.4 Línea aérea de contacto (catenaria)	124	3.28.1 Planta de fabricación de dovelas	160
3.22 Sistema de señalización y control de trenes	125	3.28.2 Instalaciones para los equipos auxiliares de las tuneladoras	160
3.22.1 Descripción General Sistema Señalización y Control de Trenes	125	3.29 Presupuesto	161
3.22.2 Equipamiento Sistema CBTC	127		





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1Estudio para factibilidad de un Sistema de Transporte Masivo para Bogotá. Año 1981	11
Figura 2Rehabilitación del Sistema Férreo de la Sabana de Bogotá. Año 1988	11
Figura 3Sistema de Troncales. Año 1991	12
Figura 4Red de Troncales de TransMilenio. Año 2010	12
Figura 5Red seleccionada en el Diseño Conceptual de la Red de Metro. Año 2010	15
Figura 6 Trazado general de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)	18
Figura 7 Intercambio entre sistemas de transporte masivo	19
Figura 11 Sección Tipo con tuneladora)	21
Figura 12 Sección Tipo túnel entre pantallas	21
Figura 13 Sección Tipo viaducto en ramal técnico	22
Figura 14 Red de Control.	25
Figura 15Mapa Geológico De Santa Fe De Bogotá (Ingeominas 1997)	27
Figura 16 Descripción alternativas consideradas en el estudio	44
Figura 17 Esquema operacional en caso de incidencia en la línea	48
Figura 18 Precipitación Acumulada Anual de Bogotá	49
Figura 19 Precipitación Acumulada mensual de Bogotá	49
Figura 20 Localización Puntos de información curvas I-D-F	49
Figura 21 Volúmenes aproximados de inundación Río Bogotá	50
Figura 22 Tendido de vía Bloques Embebidos	58
Figura 23 Tendido de vía de placas fijación directa sobre plinto	60
Figura 24 Tendido de vía en balasto	61
Figura 25 Conexión y sistema de drenaje propuesto en salidas de emergencia	61
Figura 26Sección estructural tipo para viaducto con dos carriles y luz de 30 m	68
Figura 27Sección estructural tipo para viaducto con tres carriles y luz de 40 m	69
Figura 28 Túnel entre pantallas. Sección tipo A	73
Figura 29 Túnel entre pantallas. Sección tipo B	74
Figura 30 Túnel entre pantallas. Sección tipo C	74
Figura 31 Túnel entre pantallas. Sección tipo D	75
Figura 32 Túnel entre pantallas. Sección tipo E	75
Figura 33 Túnel entre pantallas. Sección tipo F	76
Figura 34 Cubetas de asientos	79
Figura 35 Verificación estructural. Paso bajo Estación TransMilenio	81
Figura 36 Red de distribución de tubería sistema "Standpipe"	84

Figura 37 Esquema general de la posición de los pozos de ventilación	85
Figura 38 Esquema general de la posición de los sistemas de extracción en estación	
Figura 39 Ubicación de los Talleres y Cocheras de la línea	
Figura 40 Parcela urbanizable y Parcela Fase I-II	
Figura 41 Planta de distribución del complejo de Talleres y Cocheras	
Figura 42 Zonas funcionales del Taller de Mantenimiento de Material Rodante (TMR)	
Figura 43 Arquitectura software del PCC	
Figura 44 Esquemático de salas operativas del PCC	
Figura 45 Arquitectura Física del PCC	
Figura 46 Esquema del sistema de señalización y control de trenes	
Figura 47 Esquema del sistema CBTC tipo Cantón Móvil	
Figura 48 Controlador de Zona	
Figura 49 Balizas sistema ATO	
Figura 50 Esquema del sistema ATC	
Figura 51 Esquema del sistema ATP	
Figura 52 Esquema Módulos de equipamiento No CBTC	
Figura 53 Esquema de balizas del sistema ATP en equipamiento No CBTC	
Figura 54 Esquema de circuitos de vía	131
Figura 55 Señales	132
Figura 56 Esquema de equipamiento embarcado	132
Figura 57 Esquema de Red de Comunicaciones Radio CBTC	133
Figura 58 Sistema de puertas de andén	135
Figura 59 Principales componentes de las puertas de andén	135
Figura 60 Esquema general del sistema de puertas de andén	135
Figura 61Arquitectura del sistema de puertas de andén	137
Figura 62 Esquema de dimensionamiento y distribución puertas de emergencia y puertas desli	zantes 138
Figura 63 Fases del ciclo de vida de un sistema y alcance de las fases de este proyecto	153
Figura 64 Documentos elaborados para la gestión de la RAMS durante la fase de diseño	153
Figura 65 Vista de tren automático con puerta frontal para la evacuación de los viajeros	155
Figura 66 Vista esquemática exterior del material rodante	156
Figura 67 Matriz de interfaces.	158
Figura 68 Anverso de ficha DESIC	158
Figura 69 Reverso de ficha DESIC	159
Figura 73 Instalaciones de obra. Portal de las Américas	160
Figura 74 Instalaciones de obra- Estación Avda. 68	160





Figura 75.- Instalaciones de obra- Parque del Tercer Milenio161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estaciones de intercambio con otros sistemas de transporte	20
Tabla 2 Coordenadas de los vértices observados.	24
Tabla 3. Campaña de investigación geotécnica	28
Tabla 4. Parámetros geotécnicos de cálculo recomendados para diseño	30
Tabla 5. Valores de asientos por subsidencias regionales	31
Tabla 6. Recomendaciones de diseño para el análisis de interacción suelo-estructura	31
Tabla 7. Resumen de resultados de geotecnia de estructuras	34
Tabla 8Distribución por PK de ascensos y descensos del NF para distintos valores de permeabi	lidad base 35
Tabla 9Longitud de trazados afectados por las medidas paliativas	35
Tabla 10Análisis de riesgo en estaciones de servicio	36
Tabla 11 № de sondeos con gas	36
Tabla 12 Resultados de sondeos profundos	36
Tabla 13 Plan de auscultación y control. Niveles de riesgo	38
Tabla 14 Carga máxima de pasajeros por tramo en la hora pico	41
Tabla 15 Distribución de entradas y salidas de pasajeros en la hora pico	41
Tabla 16 Distribución de entradas y salidas de pasajeros en el día típico	42
Tabla 17 Factores aplicados al modelo de demanda	42
Tabla 18 Distribución de entradas y salidas de pasajeros en la hora pico. Considerando rama	les a Suba y
Engativá	42
Tabla 19 Distribución de entradas y salidas de pasajeros en el día típico. Considerando rama	les a Suba y
Engativá	43
Tabla 20 Ejes e indicadores considerados en el estudio y estimación de indicadores para cada a	Iternativa. 45
Tabla 21 Simulaciones de tiempos de recorrido	46
Tabla 22 Oferta de plazas para un día laborable en el año 2021	47
Tabla 23 Dimensionamiento de la flota de trenes	47
Tabla 24 Producción ferroviaria prevista en los distintos escenarios temporales	48
Tabla 25 Parámetros geométricos de trazado en planta	50
Tabla 26 Parámetros geométricos de trazado en alzado	50
Tabla 27 Parámetros funcionales de diseño (Confort)	51
Tabla 28 Valores máximos y mínimos de las alineaciones circulares y pendientes	51
Tabla 29 Resumen del movimiento de tierras de la obra lineal	55
Tabla 30 Resumen del movimiento de tierras de las estaciones	56
Tabla 31 Resumen del movimiento de tierras de los talleres y cocheras	57





Tabla 32 Resumen del movimiento de tierras total
Tabla 33 Localización de estaciones de bombeo para drenaje de túnel
Tabla 34 Puentes peatonales existentes afectados por la PLMB
Tabla 35 Tramos de túnel entre pantallas
Tabla 36 Resumen de resultados. Paso bajo el puente de la Calle 26
Tabla 37 Resumen de resultados. Paso bajo el río Molinos
Tabla 38. Ubicación salidas de emergencia
Tabla 39. Resumen de características de las estaciones
Tabla 40 Resumen general de longitud de tuberías de solución de interferencias. Acueducto Red Matriz119
Tabla 41 Resumen general de longitud de tuberías de solución de interferencias. Alcantarillado Pluvial120
Tabla 42 Resumen general de longitud de tuberías de solución de interferencias. Alcantarillado
Combinado/Sanitario120
Tabla 43 Dimensiones del material rodante
Tabla 53 Resumen de costos de inversión de la PLMB163





1 ANTECEDENTES

La ciudad de Bogotá, ha venido adelantando diferentes estudios encaminados a la estructuración de un Sistema Masivo de Transporte Público.

Desde el año 1942, cuando Bogotá tenía unos 400.000 habitantes, en que se hizo un primer estudio del Metro, hasta el año 1978, con una ciudad de 3.200.000 habitantes y el 80% del transporte público controlado por la empresa privada, se han realizado hasta 6 estudios diferentes, ninguno de los cuales llegó a prosperar.

En el año 1981, se redacta uno de los primeros estudios detallados de viabilidad y prediseño del sistema Metro, por INECO SOFRETU CONSULTORÍA Y SISTEMAS, que determinó una línea prioritaria de 21,2 km de longitud con 23 estaciones, de los cuales el 35% del trazado era en superficie y el resto subterráneo.

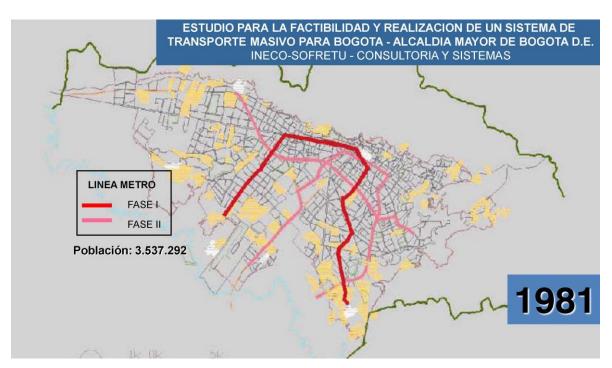


Figura 1.-Estudio para factibilidad de un Sistema de Transporte Masivo para Bogotá. Año 1981

En el año 1984 los estudios del Metro de Bogotá se archivan y en el año 1988, se propone una rehabilitación del sistema férreo de La Sabana de Bogotá para adaptarlo al Transporte Masivo de la población.

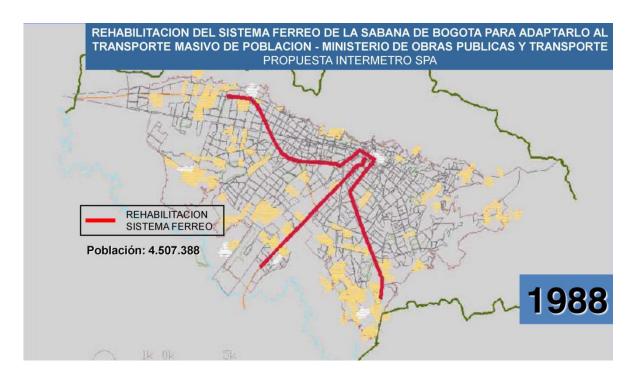


Figura 2.-Rehabilitación del Sistema Férreo de la Sabana de Bogotá. Año 1988

En el año 1991 se inaugura la troncal de la Caracas y los buses toman la ciudad. Bogotá cuenta con casi 4.900.000 habitantes y es una de las 6 ciudades en el mundo con una población de más de cuatro millones que no tienen metro.



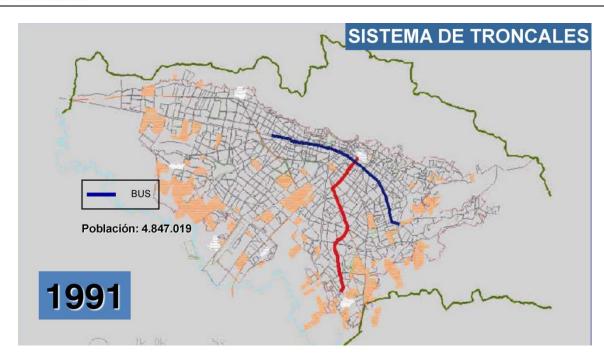


Figura 3.-Sistema de Troncales. Año 1991

En el año 1996 se termina el Plan Maestro de Transporte Urbano JICA y el diseño conceptual del SITM que incluyen la Primera Línea de Metro. Estudios realizados por el consorcio INGETEC-BECHTEL-SYSTRA. Se definió la Primera Línea de Metro, que comenzaba en el suroccidente de la ciudad (Kennedy) y terminaba en el noroccidente en la terminal Puerto Amor (Engativá). Para esta línea se desarrollaron los prediseños y la evaluación económica, ambiental, urbana y financiera.

En este sentido, se contrataron diversos estudios encaminados a la implementación de la primera línea del metro, tales como: actualización de la demanda del Sistema Integrado de Transporte Público y Colectivo de Santa Fe de Bogotá, Estudio de Impacto Ambiental y estructuración técnica, legal y financiera para de la Primera Línea del Metro, estudio y análisis desde el punto de vista urbano y arquitectónico, entre otros.

En el año 1999, la administración distrital decide suspender la ejecución del proyecto, lo que implicó reformar el alcance del Acuerdo Distrital 23 de 1997, redireccionando los recursos existentes a la adecuación del componente flexible (Sistema TransMilenio - BRT) del Sistema Integrado de Transporte Masivo SITM, lo cual es aprobado por el Concejo mediante Acuerdo 42 de 1999.

El Sistema TransMilenio inició operación en diciembre de 2000, luego de un proceso de planeación y diseño de alrededor de dos años, con base en los componentes flexibles del Sistema Integrado de Transporte Masivo de 1998 y se ha desarrollado por fases:

- FASE 1: 42 km (2000-2003)

- FASE 2: 42 km (2003 a 2006)

- FASE 3: 36 km (hasta actualidad)

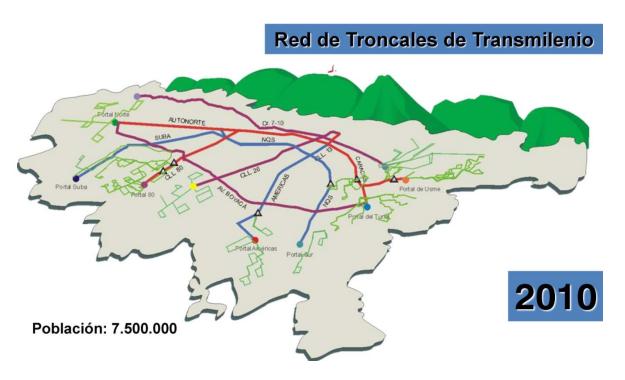


Figura 4.-Red de Troncales de TransMilenio. Año 2010

Bajo este esquema el Sistema TransMilenio ha logrado mejorar la calidad del servicio de transporte a un importante sector de la ciudad, sin embargo alrededor del 75% de los viajes en transporte público de la ciudad se realizan en el Transporte Tradicional, el cual en diversos estudios ha sido calificado como inseguro e ineficiente.

El Plan Maestro de Movilidad trazó la política distrital de movilidad, estableciendo al transporte público y todos sus componentes como el eje estructurador del sistema. En desarrollo del Plan, la Secretaría de





Movilidad contrató el diseño técnico, legal y financiero del sistema integrado de transporte público para la ciudad de Bogotá, cuyo alcance es diseñar y estructurar la primera fase del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP para el Distrito Capital, referente a la integración del actual sistema de transporte público colectivo urbano con el Sistema TransMilenio.

El SITP de conformidad con lo establecido en el Plan Maestro de Movilidad, considera como parte del mismo al componente rígido de alta capacidad (Red Metro). De esta manera, la primera fase de desarrollo del SITP se dará con la implementación de un sistema organizado de operación de buses, articulado con el actual Sistema TransMilenio, para posteriormente ser complementado con la Red Metro.

El gobierno Distrital expidió el Decreto 309 de 2009, por medio del cual "adopta el Sistema Integrado de Transporte Público para Bogotá y se dictan otras disposiciones", en el cual se incorporan los resultados de los estudios de estructuración técnica, legal y financiera adelantados por la Secretaría Distrital de Movilidad. El decreto consta de los capítulos de aspectos generales, la operación del SITP, el esquema empresarial y democratización de la prestación del servicio, el sistema integrado de recaudo, control e información y servicio al usuario (SIRCI), la gradualidad del SITP, tarifas, medidas administrativas relacionadas con la implementación del SITP, disposiciones transitorias y finales.

Los actores del sistema de transporte está en cabeza de la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) como autoridad de transporte, la que está encargada de trazar las directrices y políticas del sistema de transporte público; la Secretaría Distrital de Planeación (SDP), que entre sus funciones debe hacer seguimiento a la implementación del Plan Maestro de Movilidad y al cumplimiento de las disposiciones allí contenidas; TRANSMILENIO S.A. encargada de la planeación, gestión y control del sistema de operación; El Instituto de desarrollo Urbano (IDU), encargado de la construcción de infraestructura de troncales, estaciones, espacio público y vías para alimentadores. El sistema Transmilenio cuenta con varios agentes que conforman el subsistema de transporte masivo: Siete (7) Operadores troncales; Seis (6) operadores de alimentación; Dos (2) operadores de recaudo y un (1) administrador financiero.

En el 2008 y con el fin de dar cumplimiento a las políticas y objetivos establecidos en el Modelo de Ordenamiento de la ciudad y en el Plan Maestro de Movilidad, Decreto Distrital 319 de 2006 y dando respuesta a las condiciones de movilidad de la ciudad, la administración distrital decidió iniciar las construcción de la Primera Línea del Metro de la Ciudad de Bogotá, para lo cual fue necesario realizar la

Estructuración Técnica, Legal y Financiera de esta primera línea que incluye los diseños conceptuales, para luego continuar con los diseños básicos, de detalle y su construcción.

En noviembre de 2008 se adjudicó a la Unión Temporal Grupo Consultor Primera Línea de Metro, conformada por SENER, Ingeniería y Sistemas, S.A., ALG Advanced Logistic Group S.A., TMB Transportes Metropolitanos de Barcelona, INCOPLAN S.A., SANTANDER Investment Valores Colombia S.A. Comisionista de Bolsa y J&A Garrigues S.L., el estudio cuyo objeto es el "Diseño conceptual de la red de transporte masivo Metro y diseño operacional, dimensionamiento legal y financiero de la Primera Línea en el marco del Sistema Integrado de Transporte Público -SITP- para la ciudad de Bogotá", el cual tiene como propósito suministrar a la administración distrital un análisis actualizado de las condiciones de movilidad en la ciudad y su articulación con la planeación urbana, una evaluación de alternativas de redes de transporte público, con el objetivo primordial de proporcionar un servicio económicamente eficiente y de alta calidad, la priorización de la primera línea del metro y el acompañamiento necesario para el desarrollo de los diseños de infraestructura y la implementación del sistema, en cuyo fueron esbozadas diez (10) alternativas de redes de metro, de las cuales fueron seleccionadas cuatro (4) para ser evaluadas a través de un análisis multicriterio, evaluación que seleccionó un trazado con cuatro (4) líneas; De igual forma a través del análisis multicriterio fue priorizada la primera línea de Metro de Bogotá.

La metodología utilizada corresponde a una evaluación comparada de redes mediante el desarrollo de cinco bloques fundamentales.



Fuente: Producto 14 "Metodología de evaluación de las alternativas de la red metro del SITP" (SENER-TMB)

El bloque 1 consistió en la evaluación de los resultados derivados del cálculo de los indicadores propuestos para cada alternativa, sin tomar en consideración pesos diferenciales para cada uno de los ejes o indicadores. En este orden de ideas, se denomina "evaluación lineal".





El bloque 2 planteo un análisis de robustez de las alternativas de metro evaluadas, con el objetivo de identificar la alternativa más veces seleccionada bajo cualquier hipótesis de ponderación de ejes.

El bloque 3 incluye un módulo opcional orientado a que los diferentes entes que participaron en la toma de decisiones pudieran, eventualmente, plantear una propuesta de ponderación de ejes, y mediante un proceso de análisis de jerarquización de procesos, obtener la propuesta de ponderación global.

El bloque 4, realizó un análisis de sensibilidad al resultado obtenido en el bloque 1 o en el bloque 3, con el fin de identificar si la alternativa seleccionada presentaba un comportamiento estable; es decir, que no se modifique su selección mediante pequeñas variaciones de los pesos en cada eje. De este modo, se pudo contrastar si la alternativa seleccionada en este cuarto paso metodológico, coincidió con la alternativa de red que el bloque 2 indicó como propuesta con una mayor robustez. Finalmente, el bloque 5 consistió en el uso de una técnica de contraste, que permitiera identificar el sesgo que puede producir la agrupación de indicadores en ejes de análisis y la eventual ponderación de los mismos.

Los objetivos e indicadores que fueron utilizados para realizar dicha evaluación correspondieron a:

EJES OI		OBJETIVOS	INDICADORES		MODO DE VALORACIÓN	
				1.1.1	Grado de reconocimiento de la propuesta	A mayor cobertura de habitantes mejor desempeño
		1.1	Garantizar la coherencia con los instrumentos de	1.1.2	Potenciación de las centralidades futuras	A mayor número de empleos atendidos mejor desempeño
			planificación urbana.	1.1.3	Potenciación de la integración regional	A mayor integración regional mejor desempeño
1	Impacto territorial y	1.2	Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana	1.2.1	Conectividad de la red de transporte masivo	A mayor conectividad mejor desempeño de la red
'	urbano			1.2.2	Atención a los principales nodos de actividad	A mayor accesibilidad a empleos mejor desempeño
			urbana	1.2.3	Atención a los principales equipamientos de la ciudad	A mayor número de usuarios atendidos mejor desempeño
			Aprovechar las oportunidades de nuevos desarrollos.	1.3.1	Renovación del tejido urbano	A mayor renovación de terreno asociada a la implantación del sistema metro implica un mejor desempeño
	Impacto sobre	0.4	Mejorar las condiciones de	2.1.1	Reducción media del tiempo de viaje en la red de Transporte Masivo	A mayor reducción mejor desempeño
2	2 la demanda de transporte		2.1 accesibilidad y movilidad de la demanda		Número medio de transbordos en la red de Transporte Masivo	A menor número de transbordos mejor desempeño

				2.2.1	Demanda captada del modo privado	Un mayor número de pasajeros captados mejor desempeño
		2.2		2.2.2	Demanda del sistema metro	A mayor uso del sistema metro mejor desempeño
			público	2.2.3	Demanda de Transporte del Sistema Masivo	A más pasajeros en el sistema de Transporte Masivo mejor desempeño.
			Diseñar una línea de metro de	3.1.1	IPK de Metro	A más Pax/veh-km mejor desempeño
		3.1	amplia cobertura y operacionalmente productiva	3.1.2	Cobertura de la Red de Metro	Una mayor cobertura de la red de metro implica un mejor desempeño
3	Impacto sobre la oferta de transporte	2.2	Compatibilizar la línea metro		Nivel de integración con el sistema de transporte público convencional del SITP	A mayor integración con el sistema de Transporte Público Convencional mejor desempeño
		3.2	con el sistema de transporte masivo	3.2.2	Estaciones de intercambio de pasajeros en Transporte Masivo.	A mayor intercambio con los diferentes modos del sistema de Transporte Masivo mejor desempeño.
4	Impacto ambiental	4.1 a	mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	4.1.1	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro	A mayor puntuación peor desempeño
				4.1.2	Efecto barrera visual y urbano del Metro	A mayor puntuación peor desempeño
	Impacto socio- económico	5.1	Favorecer la mejora de las condiciones de accesibilidad de la población de menores recursos	5.1.1	Accesibilidad a los estratos de menores recursos	A mayor accesibilidad de estratos bajos mejor desempeño
5					Ahorro en costos operacionales	A mayor ahorro mejor desempeño
		5.2		5.2.2	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro	A menor número de reasentamientos mejor desempeño
		6.1	Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital frente a la inversión	6.1.1	Capacidad de financiación de la inversión	A mayor capacidad de financiación mejor desempeño
		6.2	Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones	6.2.1	VPN de la inversión por kilómetro	A menor inversión por kilómetro mejor desempeño
			Maximizar la eficiencia de la inversión	6.3.1	Inversión por pasajero (red Metro)	A menor inversión mayor puntuación
6	Impacto financiero	6.3		6.3.2	Costos de operación y mantenimiento por pasajero (red Metro)	A mayor costo menor puntuación
		6.4 Mitigar los riesgos	6.4.1	Proporción de red en túnel respecto la longitud total de red Metro	A mayor longitud de túnel menor desempeño	
				6.4.2	la longitud total de Metro	A menor afectación mejor valoración

Ejes, objetivos e indicadores para evaluación de la red de metro y priorización de la Primera Línea Metro de Bogotá.





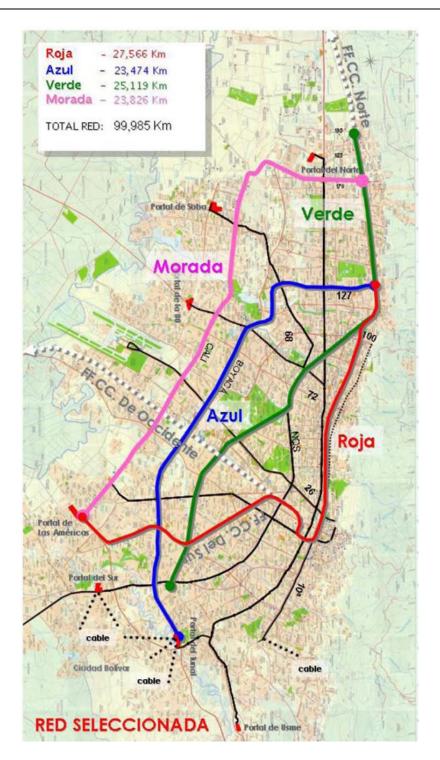


Figura 5.-Red seleccionada en el Diseño Conceptual de la Red de Metro. Año 2010.

El trazado de la Línea seleccionada en el estudio de diseño conceptual inicia en la estación de la Calle 127, en subterráneo y continúa bajo la Carrera 9 hasta la estación denominada Usaquén que se localiza a la altura de la calle 109. A partir de ese punto, el trazado gira hacia el oriente para buscar el alineamiento de la carrera 11, atravesando bajo los predios del IDU en el denominado Cantón Norte, continuando por el trazado previsto para la construcción de la carrera 11 entre las calles 106 y 100.

A partir de la calle 100, el trazado continua en subterráneo bajo la carrera 11 hasta llegar a la plaza de Lourdes, ubicada entre las calles 64 y 63, donde se localizará una estación de transferencia y hace un giro para continuar hacia el sur, también en subterráneo, bajo la carrera 13 hasta llegar a la intersección vial que existe con la calle 26, punto en donde se prevé la construcción de una estación que permita la conexión con la futura estación de intercambio del sistema TransMilenio denominada Estación Central, la cual se construirá dentro del proyecto de la fase III de Transmilenio. En este punto se propone una estación de metro donde deberá plantearse una conexión peatonal de transferencia entre ambos sistemas de transporte masivo.

El trazado continúa hacia el sur bajo el corredor de la carrera 13 llegando a la calle 13, donde se propone otra gran estación en la plazoleta de la Mariposa en San Victorino; esta estación del metro debe contemplar el intercambio peatonal con las estaciones de acceso al sistema TransMilenio de las troncales de la calle 13 de la Avenida Caracas y de la carrera 10^a que se encuentra en construcción.

Basado en los compromisos consignados en el acta Nº 1 del Comité de Seguimiento del Conpes 3677 de 2010 suscrita el 27 de octubre de 2011 y en consideración a los lineamientos de orden técnico para el trazado de la Primera Línea del Metro para Bogotá, se estableció lo siguiente:

Dando respuesta a los requerimientos del Conpes 3677 de 2010 que solicitó una calibración e integración de los modelos de demanda que tuviera en cuenta los diferentes modos de transporte en la Ciudad región, estudio contratado con la firma Steer Davies Gleave; con base en dichos estudios el comité de seguimiento solicitó analizar alternativas de trazado que incluyeran los nuevos proyectos e iniciativas de renovación urbana en la Ciudad de Bogotá, tales como el Parque Tercer Milenio, nuevo Centro Administrativo Nacional y Ciudad Salud.





Con fundamento en lo anterior, la Secretaría Distrital de Movilidad realizó varias simulaciones sobre el corredor occidental determinando la viabilidad de dos alternativas; la primera es llegar al Tintal bajando por la calle 1 desde San Victorino y la segunda bajando por la Avenida Primero de Mayo desde San Victorino hasta el Tintal, según documento elaborado por la Secretaría Distrital de Movilidad

Las dos alternativas anteriores atienden la recomendación dada por el comité de seguimiento CONPES de no forzar el paso de la primera línea del metro por la Estación de La Sabana.

En el puente vehicular existente en el cruce de la Avenida 1º de Mayo con la AV 68, el trazado continua en subterráneo por la Av. 1º de Mayo en dirección sur-occidente, hasta encontrarse con la Avenida Ciudad de Villavicencio, cuyo alineamiento es tomado para continuar en túnel hasta el denominado Portal Américas del sistema Transmilenio ubicado en el cruce con la Avenida Ciudad de Cali.

El trazado continúa hacia el occidente de forma paralela a la Avenida Ciudad de Villavicencio para finalmente, salir a la superficie semienterrado (trinchera) llegando al predio previsto para ubicar los Patios y Talleres en cercanías de la Avenida Tintal.

Se proponían varias opciones a evaluar para la ubicación del Puesto Central de Control en la estación Central de la Calle 26 o en la estación ubicada en la Plazoleta La Mariposa en el sector de San Victorino o eventualmente en el Patio Taller Tintal.

Este último estudio de Diseño Conceptual es el antecedente directo del Proyecto que ahora se ha redactado.

En marzo de 2010 el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, mediante la SOLICITUD DE PROPUESTAS No. IDU-SP-BMU-SGI-001-2010, invita a presentar propuestas para proveer los siguientes servicios de consultoría: DISEÑO PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO -SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

En la Solicitud de Propuesta, se definen los términos de referencia para la presentación de la propuesta, se describe la línea y se establecen el alcance y los productos que deberá entregar la Consultoría que

resulte contratada en el proceso que se constituye en una segunda etapa del proyecto de la PLMB, de la que se espera obtener los diseños que permitan la valoración de las obras de ingeniería, los sistemas de control y alimentación, al igual que la definición de las características del material rodante.

Las propuestas fueron presentadas con fecha de 30 de julio de 2010. Como resultado del proceso de selección No. IDU-SP-BMU-SGI-001-2010, el día 9 de mayo de 2013, se suscribió entre el INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU- y el CONSORCIO L1 (formado por las empresas EUROESTUDIOS, IDOM y CANO JIMÉNEZ), el contrato No. 849 cuyo objeto es el "DISEÑO PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO-SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ-COLOMBIA".





2 OBJETO DEL PROYECTO

Con el fin de dar cumplimiento a las políticas y objetivos establecidos en el Plan de Ordenamiento de la ciudad y en el Plan Maestro de Movilidad, Decreto Distrital 319 de 2006, el Decreto 309 de 2009 y dando respuesta a las actuales condiciones de movilidad de la ciudad, la administración distrital decidió iniciar las construcción de la Primera Línea del Metro de la ciudad de Bogotá, para lo cual realizará la Estructuración Técnica, Legal y Financiera de esta Primera Línea que incluye los diseños de infraestructura, el amueblamiento y sistemas necesarios para la operación de la línea así como el material móvil requerido, con el fin de determinar todos los costos y requerimientos del proyecto PLMB.

Los estudios resultantes del presente Contrato, serán base para la mencionada estructuración y permitirán adelantar la fase de ejecución e implementación de la PLMB.

El objeto del Contrato es por tanto el "DISEÑO PARA LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO –SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ".

El proyecto está previsto para ser adelantado en tres etapas:

- Etapa 1: Obra Civil Infraestructura
- Etapa 2: Amueblamiento y dotación de la infraestructura (sistemas)
- Etapa 3: Adquisición de Material Rodante Costos de Operación

Dentro de las cuales se desarrollarán los siguientes productos:

- Producto 1. Levantamiento topográfico
- Producto 2. Estudio geotécnico base de diseño
- Producto 3. Estudio geotécnico. Plan de auscultación
- Producto 4. Proyecto de túneles y obras subterráneas
- Producto 5. Diagnóstico de interferencia con redes
- Producto 6. Diseño geométrico de vías, superestructura y secciones tipo
- Producto 7. Proyecto de estructuras (obra civil)

- Producto 8. Proyecto estructural de estaciones
- Producto 9. Proyecto estructural de talleres y cocheras
- Producto 10. Estimación de costos de inversión (obra civil)
- Producto 11. Estimación de costos de inversión (predios y legalizaciones)
- Producto 12. Paisajismo y urbanismo
- Producto 13. Proyecto de estaciones (arquitectura e instalaciones)
- Producto 14. Estimación de costos de inversión (arquitectura e instalaciones de estaciones)
- Producto 15. Proyecto de talleres y cocheras
- Producto 16. Estimación de costos de inversión (talleres y cocheras)
- Producto 17. Proyecto de diseño del puesto central de operaciones
- Producto 18. Proyecto del sistema de alimentación eléctrica
- Producto 19. Proyecto básico de diseño de señalización y control de trenes
- Producto 20. Proyecto de diseño de puertas de andén
- Producto 21. Proyecto de diseño de comunicaciones
- Producto 22. Estimación de costos de inversión (instalaciones y equipos, vías y aparatos)
- Producto 23. Gestión de RAMS
- Producto 24. Material rodante
- Producto 25. Estimación de costos de inversión (material rodante)
- Producto 26. Estimación de costos de operación y mantenimiento
- Producto 27. Estudio de alternativas
- Producto 28. Levantamiento topográfico. Ramal técnico
- Producto 29. Estudio geotécnico. Ramal técnico
- Producto 30. Diagnóstico de interferencia con redes. Ramal Técnico
- Producto 31. Diseño geométrico de vías, superestructura y secciones tipo. Ramal técnico
- Producto 32. Proyecto de estructuras. Ramal técnico
- Producto 33. Paisajismo y urbanismo. Ramal Técnico
- Producto 34. Superestructura
- Producto 35. Estudio de tipologías. Ramal técnico

Todos los productos antes citados se plasmarán en los correspondientes documentos entregables. La estructura final del proyecto se ha organizado en los documentos: Memoria, Planos, Especificaciones





Técnicas y Presupuesto. Estos documentos incluyen todos los entregables especificados para los Productos del 1 al 35.

El nivel de los documentos desarrollados será el de un Diseño Básico Avanzado.

3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Descripción general

La Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) definida en el presente proyecto tiene una longitud total de 31,64 km, de los cuales 25,19 km corresponden a la distancia entre estaciones terminales, 0,83 km son la longitud del fondo de maniobras situado detrás de la última estación y 5,62 km corresponden a la distancia desde los talleres y cocheras a la primera estación. Cruza la ciudad de Bogotá desde el Portal de las Américas, en el suroccidente, pasa por el centro y avanza hasta la calle 127 en la parte nororiental de la ciudad. La totalidad de la línea entre estaciones discurre enterrada.



Figura 6.- Trazado general de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)





El trazado se inicia en el suroccidente, cerca de la Av. del Tintal, en la estación del Portal de Las Américas y sigue por la Av. Ciudad de Villavicencio. Gira por la Av. 1º de Mayo y avanza hasta la altura de la NQS, para girar al norte, cruzar bajo el río Fucha por la Av. Del Sur y llegar a la Av. Fucha donde gira al Este. Sigue avanzando hacia el Este por la Av. Fucha, por la Av. de la Hortúa y por la Calle 1ª, llega hasta la Av. Caracas en la que gira hacia el Norte hasta el Parque del Tercer Milenio. Cruza por debajo del parque y sigue avanzando al Norte por la Carrera 10. A partir de aquí y hasta el final, la línea discurre por el borde oriental de la ciudad, pegada a los cerros de Bogotá. Cruza por debajo de la Calle 26 y más adelante toma la Carrera 13, en pleno centro de Bogotá, ya siempre avanzando hacia el norte. A la altura de la Calle 63 cruza por debajo de la Plaza de Lourdes para pasar a la Carrera 11. Sigue hacia el norte por la Carrera 11 hasta la Calle 100, pasa por debajo de la zona militar del Cantón Norte y toma la Carrera 9 hasta el final del trazado, en la Calle 127.

Se proyectan un total de 27 estaciones, de las cuales 11 son de tipo intermodal o especiales, por tener conexiones con otros sistemas de transporte masivo como TransMilenio, Metro Ligero o Tranvía, Trenes de Cercanías, futuras Líneas de Metro o estaciones de autobuses. Además, en todas las Estaciones se producirá intercambio con otros modos de transporte: Bicicleta, Taxi, buses del SITP.

Dentro del Plan Maestro de Movilidad existe un Plan de Intercambiadores Modales que tiene por objeto integrar, entre otros, el transporte público colectivo, por lo que se considera como un aspecto importante para el buen funcionamiento de la ciudad.

En la siguiente figura se muestra una relación de intercambios en las estaciones en las que coinciden modos de transporte masivo. En ella se observan algunos casos en los que se produce duplicidad de medios de transporte masivo, por lo que se hacen las siguientes consideraciones en los intercambios:

La Línea Azul de Metro y la Troncal de TransMilenio de la Boyacá tienen el mismo desarrollo en planta. Parece poco probable que se dé realmente esta duplicidad de medios de transporte masivo por lo que se propone la consideración única del intercambio de la Estación de la Boyacá entre la Línea 1 de Metro y la Troncal de TransMilenio de la Boyacá.

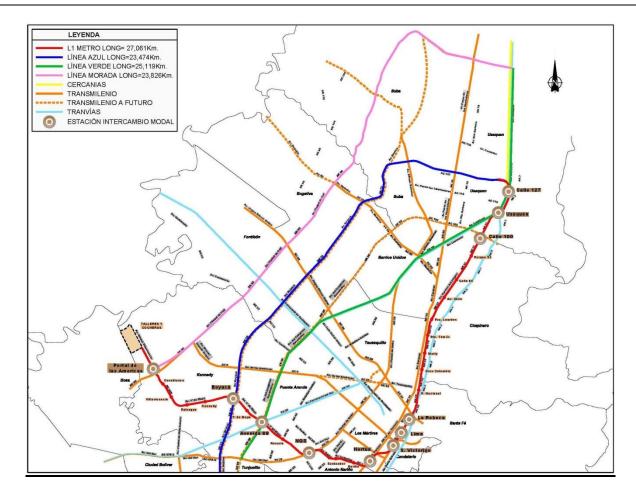


Figura 7.- Intercambio entre sistemas de transporte masivo

- La Línea Verde de Metro y la Troncal Transmilenio Av. 68 comparten desarrollo en planta hasta la Av. Ferrocarril de Occidente. A partir de ese punto la Línea Verde de Metro comparte trazado en planta con el Tranvía Central y a partir de la Estación Calle 127 con el Tren de Cercanías por lo que se propone la no consideración de la Línea Verde de Metro, así se reduce el intercambio de modos de la Estación Av. 68 a la Línea 1 de Metro, el Tranvía Central y la Troncal de TransMilenio de Av. 68, ya que se proyectan más avanzadas en su estructuración.

Se plantean por tanto los siguientes intercambios:





ESTACIÓN	LÍNEA MORADA DE METRO	TRANSMILENIO	TRANVÍA DEL SUR	TRANVÍA CENTRAL	TRANVÍA CARRERA 7ª	SISTEMA MASIVO DE AUTOBUSES	CERCANÍAS
PORTAL DE LAS AMÉRICAS	Χ	X					
BOYACÁ		X					
AVENIDA 68		X	Χ				
NQS		X					
HORTUA		X					
SAN VICTORINO		X					
LIMA		X					
LA REBECA		X					
CALLE 100		X					
USAQUEN			Χ	Χ	Χ		
CALLE 127				Χ	Χ	X	X

Tabla 1.- Estaciones de intercambio con otros sistemas de transporte

Las estaciones se han diseñado para que sean funcionales, de fácil uso y comprensión, espaciosas y luminosas, sostenibles ambientalmente y con un mínimo consumo energético. Disponen de un sistema de climatización natural, sin aporte térmico. Los materiales son de alta durabilidad, bajo mantenimiento y antivandálicos. Todas las estaciones son totalmente accesibles y adaptadas para las personas con movilidad reducida (PMR), disponen de escaleras peatonales, escaleras mecánicas de subida y bajada y ascensores.

Las estructuras de las estaciones se componen de muros pantalla perimetrales que definen el gálibo interior, entre los cuales se realizan varios niveles de apuntalamientos mediante losas. La profundidad máxima de excavación en las estaciones se sitúa a la cota -24,50 m.

Todas las estaciones de la PLMB dispondrán de las instalaciones necesarias, con los niveles de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad adecuados, para conseguir la prestación de un servicio de transporte de viajeros de calidad. Dispondrán de instalaciones eléctricas, iluminación, ventilación y climatización, escaleras mecánicas, ascensores, pasillos móviles, instalación hidrosanitaria y protección contra incendios.

Se dispone una zona de patios o cocheras para el estacionamiento del material rodante y unos talleres para el mantenimiento y reparación de los coches, los vehículos auxiliares y la propia infraestructura de la línea. Estas zonas se sitúan al inicio de la línea en el suroccidente, en la localidad de Bosa, en unos predios denominados Bosa 37, con una superficie total de 41,1 Ha. Para el acceso a los patios y talleres desde el Portal de las Américas, se ha diseñado un ramal técnico de 5,62 km, la mayor parte en viaducto, que discurre en paralelo a la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) y por el predio de Gibraltar en el Tintal.

La ejecución de las obras de la PLMB dará lugar a un volumen de material que deberá ser llevado a botadero de unos 7.700.000 m³ procedentes de la excavación de la tuneladora, pantallas, saneos y excavación de las estaciones y del túnel entre pantallas. Se ha considerado un factor de expansión de 1,30. Las necesidades de materiales suman un total de 2.800.000 m³ para el relleno de patios y talleres y el relleno superior de tierras del túnel entre pantallas y estaciones.

La demanda máxima de viajeros esperada en la PLMB es de 46.000 pasajeros/hora/sentido en la hora pico, en el año de puesta en servicio 2021 y de 73.000 a 81.000 pasajeros/hora/sentido en el año horizonte 2050. Para atender esta demanda se ha previsto inicialmente una frecuencia de paso de 150 segundos en el año de puesta en servicio con trenes de 2.000 pasajeros que da una oferta de transporte de 48.000 pasajeros/hora/sentido y en el año horizonte frecuencias de 90 segundos con una oferta de transporte de 80.000 pasajeros/hora/sentido. El número de viajes diarios previstos es de 834.690 en el año 2021 y de 1.560.220 en el año 2050. La velocidad máxima a la que pueden circular los trenes es de 100 km/h, y la velocidad comercial se sitúa alrededor de los 35 km/h. El tiempo de ida y vuelta para recorrer completa la línea es de 85 minutos.

Los trenes están formados por 6 coches con una longitud total de 141-143m y tienen una anchura de 3,20 m. Su capacidad es de 2.000 pasajeros cada uno (suponiendo una ocupación de 6 pasajeros/m²) y operarán en modo de conducción automático sin conductor a bordo (modo GoA4), siendo dirigidos desde un puesto de Control Central (PCC). Disponen de sistemas de evacuación en caso emergencia frontal y lateral. En el año de puesta en servicio se iniciará con una flota de 47 trenes que se irá ampliando de acuerdo con las necesidades futuras.





Se ha realizado un análisis multicriterio para elegir el método constructivo más adecuado en cada caso, apoyado por los informes técnicos de todos los expertos y el resultado de la investigación geotécnica efectuada. La decisión final por tramos ha sido la siguiente:

- Tuneladora tipo EPB: entre el Portal de las Américas y la Estación Gran Colombia
- 3 Tuneladoras entrando una por el Portal de las Américas y dos por el Parque del Tercer Milenio
- Pantallas: entre las estaciones de Gran Colombia y Calle 127

Se han diseñado tres (3) secciones tipo, en los distintos tramos, así se tiene:

• En los tramos de línea ejecutados con tuneladora se considera un túnel único para doble vía circular de 10,04 m de diámetro interior.

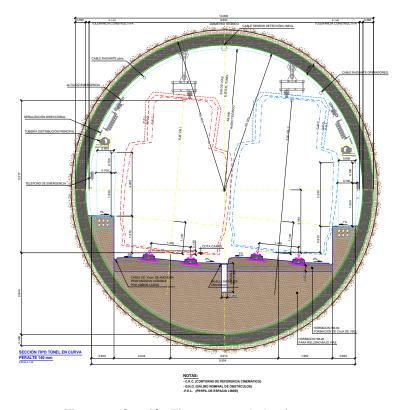


Figura 8.- Sección Tipo con tuneladora)

• En los tramos entre pantallas la anchura y altura libres de la sección serán respectivamente de 10,00 m y 6,40 m (desde cota carril).

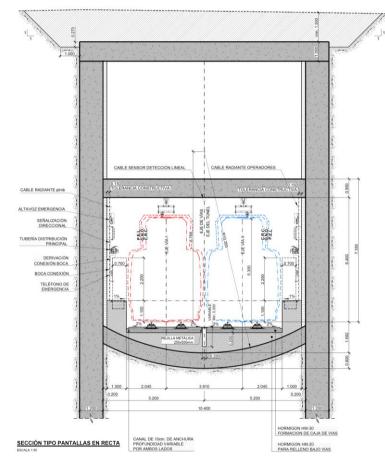


Figura 9.- Sección Tipo túnel entre pantallas

• El viaducto del ramal técnico está formado por una sección de vigas cajón con tablero de 10,00 m de ancho, que pasa a una anchura de 14,00 m en un tramo con 3 vías.



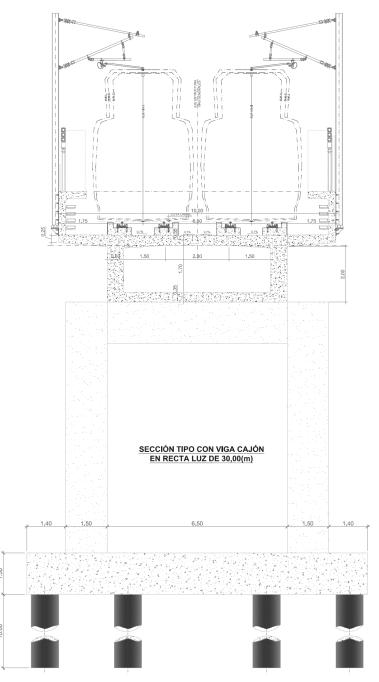


Figura 10.- Sección Tipo viaducto en ramal técnico

El ancho de vía es de 1.435 mm (anchura internacional) y el tendido de vía en el túnel consiste en bloques de concreto recubiertos de elastómero, que se encuentran incrustados en el concreto de la placa principal. Cada hilo es soportado por un bloque de concreto independiente introducido en una cazoleta y embebido

en un elastómero. Éste hace de eslabón elástico entre el bloque y la cazoleta, actuando a la vez de sistema antivibratorio. El tipo de carril proyectado es el UIC 60 de calidad 110.

El tendido de vía para el tramo en viaducto es el de placas de fijación directa sobre plinto. El Sistema de Fijación Directa es un sistema de sujeción para vías en placa, donde el riel apoya sobre la placa principal sin la interposición de traviesas o bloques, realizándolo de manera directa.

En la zona de talleres y cocheras se han previsto tres tipos de vía: Vía en balasto en los accesos, vía embebida en las cocheras y vía embebida en concreto o sobre pilares en los talleres.

El túnel está dotado de todas las instalaciones necesarias para su buen funcionamiento, instalaciones para evacuación y protección contra incendios, ventilación, instalación eléctrica, alumbrado. Se construirán 12 salidas de emergencia entre las estaciones a lo largo de toda la línea para conseguir una correcta y segura evacuación de las personas en caso de incendio.

Para el drenaje del túnel se proyecta un canal longitudinal que recibirá los aportes de los drenajes transversales. En las estaciones y salidas de emergencia se disponen sistemas de bombeo para evacuar los caudales al sistema de alcantarillado existente en la ciudad.

Con la ejecución de las obras se ven afectados algunos elementos estructurales existentes, como son varios puentes peatonales, la estructura sobre la calle 26, las estructuras de la calle 127, el parqueadero del Parque del Tercer Milenio y varios Box-Culvert. Estas estructuras serán repuestas o reforzadas, según el caso, de manera que no se vea afectada su funcionalidad.

Se ha previsto un Puesto Central de Control (PCC), ubicado junto a la Estación de Boyacá, cuyo objetivo es conseguir de manera centralizada la supervisión y gestión remota de todos los sistemas de la PLMB. La gestión integral conlleva las funciones de control, regulación y supervisión del tráfico, seguridad de la línea, información y atención al viajero, control y monitorización de instalaciones, gestión y explotación de la línea, gestión de incidencias y emergencias, control de las instalaciones y de la energía.





El sistema Metro es 100% eléctrico, la energía se toma de las líneas de 115 KV a través de 3 Subestaciones Eléctricas Receptoras (SER), situadas en el Tintal, en Hortúa y en Usaquén, donde se transforma a 34,5 KV para alimentar los anillos de distribución de energía de tracción e instalaciones de estaciones. Cada una de estas tres subestaciones receptoras cuenta con tres transformadores para alimentar los distintos anillos de energía: Un transformador de 70 MVA que alimenta al anillo de tracción, un transformador de 20 MVA que alimenta al anillo de instalaciones y otro transformador de respaldo de 70 MVA. La demanda de energía del material rodante es satisfecha a través de subestaciones de tracción instaladas en las propias estaciones de viajeros. Todas las subestaciones de tracción estarán alimentadas desde el anillo de distribución de tracción. Todos los equipos instalados en las estaciones de viajeros son alimentados desde el anillo de instalaciones. En cada una de las estaciones existen dos centros de transformación redundantes. La catenaria empleada en la parte de túnel es de perfil de aluminio rígido (catenaria rígida) con hilo de contacto de cobre insertado en su parte inferior para suministro de energía al pantógrafo del tren, mientras que la catenaria tanto del ramal de conexión como en las Cocheras y Talleres será poligonal flexible.

El sistema de señalización y control de trenes previsto será un CBTC. Dispondrá del equipamiento necesario para poder llevar a cabo el establecimiento de modos degradados en la explotación de la línea. Este equipamiento lo constituye la instalación de circuitos de vía y señales laterales. Adicionalmente, existe también un sistema ATP de respaldo. El sistema permitirá la supervisión de todo el conjunto simultáneamente por parte de los operadores de tráfico situados en PCC y en el Puesto de Control de Respaldo. El sistema será intrínsecamente seguro, con un nivel de seguridad SIL 4, garantizando la seguridad continua tanto de los viajeros, como del propio personal de explotación y circulación.

Los andenes en las estaciones tienen una longitud de 150 m y están dotados de un sistema de protección a los pasajeros mediante puertas de andén. Este sistema forma una fachada continua a lo largo del borde de andén, con puertas deslizantes, puertas de salida de emergencia y paneles fijos que coinciden con la configuración requerida del tren. Estas puertas deslizantes se abren de forma sincronizada con las puertas del vehículo, cuando el Metro llega a la estación y realiza su parada, y también se cierran de forma sincronizada con el cierre de las puertas del vehículo, cuando éste abandona la estación para seguir su recorrido.

La PLMB dispondrá de todos los sistemas de comunicaciones necesarios: Sistema de billetaje para la venta automática o manual de títulos de transporte, máquinas validadoras para el control de entradas y/o salidas de los viajeros, puertas de acceso "flap" y pasos para personas de movilidad reducida. El medio de pago utilizado será la Tarjeta Inteligente Sin Contacto (TSIC), con la funcionalidad básica para permitir la integración operativa y tarifaria entre distintos modos. Se dispondrá un sistema de interfonía que permitirá el establecimiento de llamadas de información o emergencia por parte de los usuarios de la línea desde las principales zonas públicas de estación (vestíbulos, líneas de billetaje, ascensores, andenes,...), en las zonas de evacuación (salidas de emergencia, túneles,...) y en locales técnicos y subestaciones. Un sistema de megafonía permitirá la difusión de mensajes sonoros de información en las estaciones de la línea a usuarios, personal de explotación y mantenimiento, a los Talleres y Cocheras así como al material móvil. El sistema de transmisión de voz y datos proporciona un medio de transmisión físico fiable y de alta capacidad para ofrecer conectividad y transporte a los diferentes sistemas y servicios en cualquier ubicación de la línea. El Sistema de Radiocomunicaciones de Voz y Datos contempla la implementación de una red móvil de alta seguridad para servicios de voz y datos de baja velocidad a lo largo de toda la Línea. La distribución de una referencia horaria (fecha y hora) a todas las estaciones, locales técnicos, talleres y cocheras así como a los diferentes equipos instalados en la línea de metro y en el material móvil se asegura mediante un sistema de cronometría, que además garantiza la sincronización de todos los equipos y subsistemas. Se dispone también de un sistema de información al viajero (SIV), de un sistema de telefonía para el uso del personal de explotación, sistema de videovigilancia mediante circuito cerrado de televisión, sistema de control de accesos y un sistema de supervisión unificada.

El diseño del espacio público que será intervenido sobre la superficie de las estaciones, así como de las bocas de acceso e instalaciones asociadas a cada estación (salidas de emergencia y ventilaciones), se ha enfocado en estructurar, articular, mejorar o renovar el sistema de espacio público. El criterio general del diseño urbano-paisajístico se basó en la modificación de los perfiles viales existentes, con el cual se aprovechó la afectación que se realizará en la superficie en la construcción de todas las estaciones e instalaciones asociadas, así como por la afectación del método constructivo del corredor en los tramos entre pantallas, que implicará la intervención completa de la superficie del túnel. Con la reconfiguración de los perfiles viales se ha planteado la reducción del espacio vehicular, favoreciendo la generación, el mantenimiento y la recuperación del espacio público.





Se ha contemplado la reposición de todas las redes de servicios públicos afectadas por las obras de la PLMB. Se han identificado redes de acueducto, alcantarillado, gas, eléctricas y comunicaciones. Se ha realizado el diagnóstico detallado de las posibles interferencias con la construcción y operación de la PLMB, el plan de acción y alternativas para solucionar dichas interferencias, los prediseños de reubicación de redes de servicios públicos domiciliarios con los presupuestos preliminares que implique su traslado, construcción, mantenimiento y puesta en servicio. Además, se presentan los protocolos y cronogramas de gestión ante las entidades correspondientes, tanto para su diseño definitivo como para su traslado y/o construcción.

3.2 Normativa

Para la redacción del Proyecto se han tenido en cuenta las normas, instrucciones, recomendaciones y pliegos oficiales vigentes, la normativa urbanística y medioambiental local, la normativa colombiana aplicable, las directrices vigentes sobre la ordenación y contenido de los proyectos, así como las instrucciones dictadas por el IDU cuando no existían normas sobre el tema.

Se han desarrollado los trabajos teniendo en cuenta las instalaciones de servicios domiciliarios existentes (alcantarillado, gas, semaforización, etc.) que podrán verse afectadas por la ejecución de las obras de la PLMB, así como los convenios específicos celebrados por las empresas de servicios domiciliarios, que resultarán de obligatoria observancia durante la ejecución de las obras de la PLMB.

En caso de no existir normativa colombiana específica en las instalaciones se ha aplicado la normativa europea y en su defecto la americana.

3.3 Cartografía y topografía

El objetivo de los trabajos de cartografía y topografía fue la recopilación de la información de la totalidad del corredor y áreas donde está previsto el trazado para la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), para la implantación y diseño de las obras que integran el sistema, de acuerdo con las especificaciones técnicas y requerimientos por parte de la entidad contratante, así como la obtención de toda la información necesaria de acuerdo con la complejidad para este tipo de proyectos.

3.3.1 Red Geodésica

Para cumplir con el objeto de los trabajos de cartografía y topografía se utilizó el sistema de referencia oficial MAGNA–SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia – Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas).

3.3.2 Enlace Planimétrico.

El enlace con el sistema de referencia, se realizó mediante las antenas geodésicas existentes en las instalaciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), denominadas BOGT, BOGA y se complementaron esporádicamente con la antena ABCC perteneciente a la EAAB, ya que sus observaciones no se publican con regularidad. En la Tabla siguiente se presentan las coordenadas de los vértices observados.

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA ELIPSOIDAL	х	Y
BOGT	4° 38' 24.25718"	-74° 04' 51.38249"	2577.0830	999619.233	1004851.323
BOGA	4° 38' 19.24554"	-74° 04' 47.81772"	2610.6677	999729.103	1004697.380
ABCC	4° 39' 40.43454"	74° 07' 36.91958"	2577.1453	994517.309	1007191.462

Tabla 2.- Coordenadas de los vértices observados.





3.3.3 Enlace Altimétrico

La altimetría del proyecto se refirió a puntos CD del IGAC con cota geométrica, para lo cual se tuvo en cuenta los puntos localizados sobre la carrera séptima con calle 116, identificados con los números CD 526, CD 342 y CD 341. Se realizaron nivelaciones de comprobación de la confiabilidad y estabilidad de los mojones sobre los cuales estaban incrustadas las placas, teniendo en cuenta los problemas de asentamientos de las estructuras por la subsidencia y construcciones de vías. A partir de dicha revisión, se decidió tomar como nivel de referencia, para la totalidad del proyecto, el punto CD 341 con cota geométrica 2568,719 msnm.

3.3.4 Implantación de la Red Básica

Para la ejecución de los levantamientos se diseñó una Red Básica de Control a partir de la implantación de 30 puntos GPS a lo largo del corredor de la PLMB, materializados en el terreno mediante placas de aluminio que fueron marcadas, empotradas a estructuras de concreto estables y fijadas con resina epóxica. Los puntos GPS se distribuyeron en parejas intervisibles entre sí, distanciados cada 2,0 km aproximadamente y localizados en la proximidad del trazado.

Para el traslado de coordenadas desde las antenas del IGAC, se emplearon equipos de doble frecuencia con tiempos de observación superiores a los 45 minutos. Para la totalidad de los puntos, se trasladó la cota geométrica a partir del punto de referencia CD 341.

En los levantamientos del Ramal Técnico y el predio Bosa 37, se implantaron 15 puntos GPS en la Red de Control y se siguió la misma metodología descrita anteriormente.

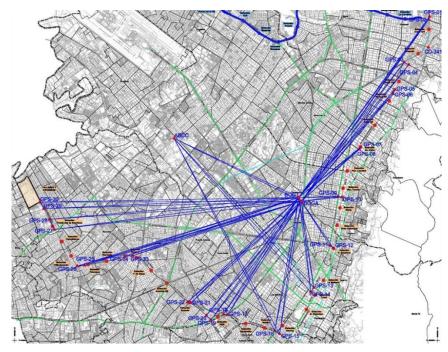


Figura 11.- Red de Control

3.3.5 Implantación de la Red Secundaria

A partir de la red de Control se implantó la Red Secundaria con coordenadas X, Y, Z, conformada por 33 puntos, distanciados aproximadamente cada 500 m entre sí. Su observación se realizó con receptores GPS y con receptores de doble frecuencia a partir de las antenas del IGAC. Con la metodología descrita anteriormente, se garantizó que los errores de cierre obtenidos estuvieran por encima de los permitidos en las especificaciones técnicas, al igual que la calidad de los trabajos objeto del presente producto.

3.3.6 Levantamiento Detallado

A partir de los puntos de la Red de Control y Red Secundaria, se realizó por el método de radiación, la toma de la información detallada a lo largo de 200 m, para identificar bordillos, sardineles, vías, andenes, arboles, construcciones, paramentos, redes de servicios, entre otros. En los sitios en los cuales no se pudo tomar la información por razones de ubicación, se localizaron poligonales auxiliares cerradas para el levantamiento de los detalles.





Con la obtención de la nube de puntos con coordenadas X, Y, Z, producto del levantamiento detallado, se realizó la edición en gabinete, a través de programas en entorno CAD y se elaboró la cartografía según los estándares y formatos solicitados.

3.3.7 Cartografía

Los planos detallados se realizaron con la información procesada que se obtuvo en los levantamientos. Dichos planos se estructuraron con el contenido requerido para los diseños de los diferentes componentes de la PLMB, de acuerdo con los cuatro (4) tramos en que se sectorizó la PLMB.

De igual forma, se elaboraron los planos correspondientes al lote de Gibraltar, Ramal Técnico y Lote de Bosa 37.

3.4 Geología y geotecnia. Plan de Auscultación y Control

La caracterización geotécnica se ha basado en los datos de la campaña de campo y ensayos de laboratorio y éstos a su vez en las especificaciones de los Términos de Referencia en cuanto a cantidad y variedad de la investigación. Aparte de consultar las referencias bibliográficas existentes se ha contado con el asesoramiento de expertos geotecnistas nacionales e internacionales.

3.4.1 Características geológicas de la PLMB

El trazado de la PLMB se desarrolla en su totalidad sobre el relleno cuaternario que define la Sabana de Bogotá que a su vez se sitúa sobre un gran sinclinal que definen los materiales terciarios y cretácicos que rodean la sabana.

Los materiales cretácicos y terciarios de las formaciones Chipaque, Guadalupe, Guaduas, Cacho, Bogotá Regadera y Usme, están formados por una alternancia de limolitas, areniscas, conglomerados, lodolitas, porcelanitas, etc. en forma de hojaldre, que han sido objeto de una tectónica compresión de dirección aproximada E-W, generándose toda una serie de fallas y cabalgamientos de dirección N-S y E-S, que genera estructuras de anticlinales y sinclinales de dirección general N-S; estos dos sistemas de fracturas a su vez han generado en este substrato cretácico y terciario toda una serie de bloques hundidos y elevados

tipo Horts y Graben que son los causantes de la diferencia de espesor de suelos cuaternarios en la Sabana de Bogotá.

La Sabana de Bogotá se desarrolla como consecuencia del relleno de la Fosa Tectónica de Bogotá por los materiales que han sido erosionados en las laderas que la delimitan, en ciclos de ambiente lacustre que, una vez colmatada pasaba a un ambiente fluvial, hasta un nuevo hundimiento en que se pasaba de nuevo a un régimen lacustre y así sucesivamente y con variaciones entre unas zonas y otras de la Sabana.

Los materiales cuaternarios que definen el relleno de la Sabana de Bogotá presentan características de medios aluviales, medios de conos de deyección y lacustre.

Los materiales aluviales están formados por una alternancia de arcilla, limos, arenas y pequeños intercalaciones de grava fina afecta fundamentalmente a los tramos I y II, así como a la zona de Patios y Talleres.

Los materiales del complejo de conos, situados en la parte inferior de los relieves que definen los Cerros orientales, están formados por una alternancia de arcillas, limos, arenas y gravas, finas y gruesas así como niveles de gravas, bolos y bloques, en función de su mayor proximidad a los relieves, afectando a la PLMB en la parte final del tramo II, todo el tramo III y el tramo IV y en este último, bien desde superficie o bien bajo un espesor de suelos lacustres.

Los materiales lacustres están formados fundamentalmente por potentes niveles de arcillas, muy plásticas y alta humedad, limos y esporádicos niveles de arena fina, afectando a la mayor parte del tramo IV, situándose sobre un potente espesor de suelos de conos de deyección a modo de boina. También se han detectado estos materiales lacustres, tanto en la zona de Patios y Talleres como en el Ramal Técnico, bajo espesores de suelos aluviales, can abundantes cambios laterales de facies entre unos y otros.

Intercalados en cualquiera de los materiales anteriores aparecen niveles de materia orgánica de espesor variable desde centimétrico a 1-2 m máximo y más abundantes hacia los tramos I, II y Patios y Talleres.





Destacar también la presencia de rellenos antrópicos de tipología variada; se observan una serie de rellenos antrópicos típicos de rellenos de vaguadas para explanación de vías principales a lo largo de toda el trazado con espesores máximos de 2-3 m; se observan también rellenos inertes vertidos sin ningún tipo de consolidación como los observados en el predio de Patios y Talleres; por último se ha localizado un relleno antrópico tipo vertedero de materia orgánica, en el predio de Gibraltar, junto al inicio del tramo I. Se trata de un antiguo botadero casi clausurado a día de hoy con espesores máximos de 12 m en su parte central y sobre el cual discurre la parte final del trazado del Ramal Técnico.

Desde el punto de vista de los fenómenos de remoción en masa la totalidad del trazado queda fuera de cualquier tipo de amenaza.

En cuanto a las características hidrogeológicas de la Sabana de Bogotá se han distinguido dos acuíferos: el acuífero inferior formado por los niveles permeables de los materiales terciarios y cretácicos (areniscas, conglomerados, calizas, etc.) y por otra parte el acuífero superior, definidos por los materiales cuaternarios que rellenan la Sabana de Bogotá, siendo este último el que afecta al trazado de la PLMB; se trata de un acuífero libre donde el nivel freático se ha detectado muy próximo a la superficie en los tramos I, II, IV y Patios y Talleres y algo más profundo en el tramo III; en el tramo IV se observan niveles surgentes en los niveles coluviales situados bajo los materiales lacustres debido a la conexión hidráulica de estos con los materiales situados ladera arriba. El nivel freático situado tan en superficie tendrá grandes consecuencias en el diseño de las estructuras de la PLMB.

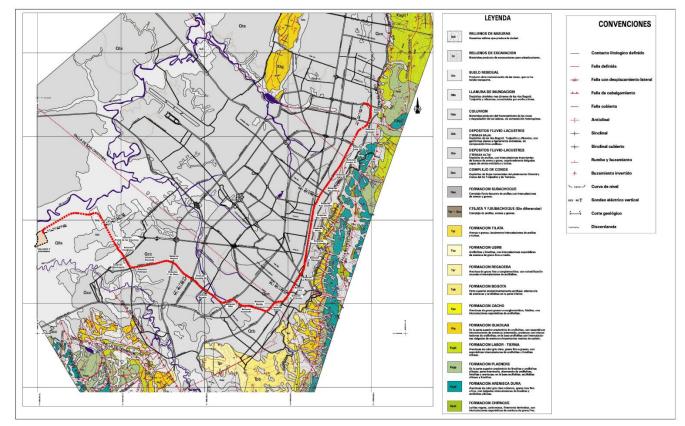


Figura 12.-Mapa Geológico De Santa Fe De Bogotá (Ingeominas 1997)

Desde el punto de vista sísmico la ciudad de Bogotá se encuentra incluida en una estrecha franja que atraviesa todo el país en dirección NE-SW catalogada con una amenaza sísmica intermedia con valores de la aceleración Aa (g) entre 0.1 y 0.2.



3.4.2 Campaña de investigación geotécnica

La campaña de investigación geotécnica ha consistido en trabajos de campo y ensayos de laboratorio cuya relación es la siguiente:

ACTIVIDAD	LÍNEA	PATIOS Y TALLERES	RAMAL TÉCNICO
Nº de sondeo	332	12	46
M/L perforación en suelos	14.189	600	2.296,2
M/L perforación en coluvión	1.465		
M/L perforación en roca	746		
Nº MI	2.719	157	459
Nº TP o alteradas	725	3	2
Nº SPT	3.281	39	275
Nº Apiques manuales detección servicios	547		
M/L Piezoconos (CPTU y SCPTU)	5.519	908	1.727,5
Nº Ensayos disipación	122	62	68
Nº Presiómetros (PMT, DMT)	725	24	89
Nº ensayos de permeabilidad	116	5	13
M/L tubería Casagrande	2.259		
M/L tubería Down Hole	4.028		300.4
M/L tubería ranurada	9.824		1.916,5
M/L tubería sellada por presencia de gas	990.2	599	30
Piezómetros de cuerda vibrante	11		
M/L Geofísica REMI	2.305		
Sísmica de reflexión de alta resolución	100	500	
Sondeos en Bombas	18		
Sondeos Profundos	4		

Tabla 3. Campaña de investigación geotécnica

En cuanto a los ensayos de laboratorio se han realizado ensayos de granulometría, densidad seca, Peso específico, humedad natural, límites de Atterberg, compresión uniaxial, presión de hinchamiento, hinchamiento libre y Lambe y edómetros, contenido de sulfatos solubles, carbonatos y materia orgánica, corte directo Triaxiales, Triaxiales cíclicos, columnas resonantes y Bender element así como análisis de

agua, en una cuantía de 20.504 ensayos de laboratorio, de los cuales 16.326 corresponden a ensayos de identificación (límites, granulometrías, humedad, densidad y peso específico).

3.4.3 Caracterización geotécnica del trazado

La clasificación en niveles geotécnicos de los materiales encontrados a lo largo del trazado de la PLMB se ha realizado con base a los siguientes criterios:

- Consulta de la bibliografía geológica y geotécnica existente
- Descripción geológica y asignación a unidades litoestratigráficas
- Valor del Nspt
- Contenido de humedad
- Contenido de finos
- Resultados de plasticidad
- Resultados de piezoconos
- Resultados del Vane test

Estos criterios geotécnicos junto con las unidades litoestratigráficas definidas en el apartado de geología (rellenos antrópicos, materia orgánica, depósitos aluviales, depósitos de conos, depósitos lacustres y el substrato terciario de la Formación Bogotá), han dado lugar a las siguientes unidades geotécnicas a lo largo de la PLMB:

Depósitos aluviales:

- (Q_{tb11}): Arenas con algo de limo y flojos
- (Q_{tb12}): Arenas con bastante limo de compacidad media
- (Q_{tb13}): Arenas con bastante limo y muy densas
- (Q_{tb21}): Arcillas <u>blandas</u>
- (Q_{tb22}): Arcillas firmes
- (Q_{tb23}): Arcillas <u>muy firmes</u>
- (Q_{tb3}): Gravas arenosas medias a muy densas





Complejo de conos:

- (Q_{cc11}): Arenas con algo de limo y <u>flojos</u>
- (Q_{cc12}): Arenas con bastante limo de <u>compacidad media</u>
- (Q_{cc13}): Arenas con bastante limo y muy densas
- (Q_{cc21}): Arcillas <u>blandas</u>
- (Q_{cc22}): Arcillas firmes
- (Q_{cc23}): Arcillas muy firmes
- (Q_{cc3}): Gravas arenosas medias a muy densas

<u>Depósitos lacustres:</u>

- (Q_{ta21}): Arcillas plásticas <u>muy blandas a blandas</u>
- (Q_{ta22}): Arcillas plásticas <u>moderadamente firmes</u>

Formación Bogotá:

- (T_{pb1}): Limolitas versicolores meteorizada en la parte más superficial
- (T_{pb2}): Limolitas versicolores sanas

Materia Orgánica

- (Qma): Arenas, arcillas, gravas con materia orgánica variable entre un 5%-30%.

Rellenos antrópicos

- (Qa): Rellenos antrópicos que a su vez han sido subdivididos en:

Qa1: Rellenos estructurales

Qa2: Rellenos de inertes

Qa3: Rellenos de Basuras (Gibraltar)

Los parámetros geotécnicos obtenidos con base a la investigación realizada, contrastados con los datos de la bibliografía existente en materiales similares, da lugar a los siguientes parámetros geotécnicos de cálculo tanto en la línea como en el predio de Patios y talleres:





				TABLA A: PARÁMETR	OS DE CÁLCUL	.O RECO	MENDAI	OOS PAF	RA DISE	ÑO. ME	TRO BOG	OTÁ (LÍNEA	. 1)			
EDAD	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GRUPO GEOTÉCNICO	TRAMO	DESCRIPCIÓN	Densidad aparente seca	Humedad	% FINOS	ш	IP	N (SPT)	COHESIÓN EFECTIVA	ANG. ROZAMIENTO INTERNO	MODULO DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN	COEF. DE REACCIÓN LATERAL	MÓDULO DEFORM. EN CARGA	MÓDULO DEFORM. EN DESCARGA O RECARGA
	EITOESTKATIGKATIGA	GLOTECHICO			γ _{d, ap} (t/m³)	(%)					c' (t/m²)	ф' (°)	Esub (t/m³) (***)	Kh (t/m³)	(t/m²)	(t/m²)
	Relleno antrópico	Rellenos	1 a 4	Vertidos	1,40-1,70	20-40	40-80		_	<5	0,0	28	300-500	800	400-700	1200-2000
		Qtb11		Arenas con algo arcilla/limo, muy flojas - flojas	1,50-1,55	15-25	20-35	10-20	4-10	≤10	0,5	30	650-900	1.200	900-1300	2500-4000
		Qtb12		Arenas con bastante arcilla/limo, medianamente densas	1,55-1,60	15-30	20-40	10-20	4-10	11-30	1,1-1,4	30-32	1300-1650	1300-1600	1700-2100	5000-6500
		Qtb13		Arenas con bastante arcilla/limo, densas y puntualmente muy densas	1,60-1,65	14-30	30-45	20-30	5-10	≥31	1,3-,1,7	32-34	1750-2000	2000-3000	2500-3500	8000-9500
	Depósitos aluviales Qtb	Qtb21	Tramos 1 y 2	Arcillas y limos moderadamente firmes y puntualmente blandos	1,35-1,50	25-40	70-100	30-45	5-15	0-8	0,4-0,6	14-16	500-900	800-1500	800-1200	2500-4000
		Qtb22		Arcillas y limos, firme	1,50-1,60	20-35	70-100	30-50	10-22	9-15	1,0	16-18	900-1300	1200-2000	1200-1600	3500-5000
		Qtb23		Arcillas y limos, muy firmes y puntualmente duros	1,55-1,70	15-30	70-100	30-50	10-22	≥16	1,5-2,5	18-22	1300-1500	1600-2400	1600-2000	5000-6500
	Qtb3		Grava arenosa, medianamente densa	1,65-1,75	15-25	10-25	15-25	4-10	>25	0,0	34-38	2500-3000	4000-5000	3500-4000	10500-11500	
CUATERNARIO	Niveles con alto contenido en Materia Orgánica. QMA	QMA	Todos los tramos	Nivel arcilloso con alto contenido en materia orgánica	0,55-1,15	70-120	95-110	85-220	60-130	5-15	0,15-0,25	9-11	250-500	100-250	300-600	900-1500
CUATE		Qcc11		Arenas con bastante arcilla/limo, muy flojas - flojas	1,23-1,56	10-40	30-40	20-35	5-15	≤10	0,8-1,2	28-30	1500-2000	2500-3500	2000-2500	6000-7500
		Qcc12		Arenas con bastante arcilla/limo, medianamente densas	1,6-1,8	10-25	25-40	20-30	5-15	11-30	1-1,6	30-32	3000-3500	3000-4000	3700-4500	10000-12000
		Qcc13	Tramo III,	Arenas con bastante arcilla/limo, densas y puntualmente muy densas	1,7-1,75	10-20	20-40	20-30 ^(a)	5-15	≥31	0,4-0,6	34-36	3500-4500	3500-6000	4500-6000	13500-18000
	Complejo de Conos QCC	Qcc21	Final Tramo II e Inicio	Arcillas y limos con algo de arena, blandas	1,1-1,6	20-60	70-100	30-70	10-35	0-4	1,0	18	1100-1500	2000-2500	1500-2000	4500-6000
		Qcc22	Tramo IV	Arcillas y limos con algo de arena, moderadamente firmes.	1,4-1,65	25-40	70-100	20-50	10-20	5-8	1,5	22	1500-2000	2500-3000	2000-2500	6000-8000
		Qcc23		Arcillas y limos con algo de arena, firmes a muy firmes	1,60-1,75	25-30	80-100	20-50	10-20	≥9	2,0	26	2000-2300	3000-3300	2500-2800	7500-10000
		Qcc3		Gravas arenosas y bolos ocasionales, medianamente densa a densa y puntualmente rechazo	1,7-1,8	10-20	10-30	20-35	5-20	15-R	0,8-1,0	36-38	4500-5600	5000-6000	5500-7400	17000-22200
	Depósitos lacustres (Formación Sabana)	Qta21		Limos y arcillas de alta plasticidad, muy blando- blando	0,5-1,3	40-120	90-100	75-150	50-100	0-4	0,4-0,6	17-18	150-200	300-450	200-250	1200-1600
	(Formacion Sabana) Qta	Qta22	Tramo 4	Limos y arcillas de alta plasticidad, moderadamente firme y puntualmente firme	0,7-1,5	45-105	90-100	50-150	50-100	5-15	1,0	18	250-400	450-650	300-500	1600-2000
ARIO		Tpb1		Arcillas y limos versicolores, muy firmes a duros, con ocasionales niveles de arenas. (Substrato meteorizado)	1,6-1,7	10-25	85-100	35-50	15-30	25-R	4,0	24	5600-7000	8000-10000	8000-10000	24000-30000
TERCIARIO	Fm. Bogotá. Tpb	Tpb2	Tramo 3	Arcillas y limos versicolores, muy duros, con intercalaciones puntuales de arenisca. (Substrato sano)	2,2-2,3	3-10	80-100	35-50	15-30	R	6,0	26	30000-60000	50000-75000	40000-60000	120000-240000
	(a) En dos ensayos rsultaron N.P., a pesar del contenido de finos															

EDAD	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GRUPO GEOTÉCNICO	DESCRIPCIÓN	Densidad aparente seca	Humedad	% FINOS	ш	Р	N (SPT)	COHESIÓN EFECTIVA	ANG. ROZAMIENTO INTERNO	MODULO DEFORMACIÓN EN EXTENSIÓN	REACCIÓN LATERAL	DEFORM. EN CARGA	MÓDULO DEFORM. EN DESCARGA O RECARGA	CORF. CONSOLIDACIÓN CVm	OMPRESIÓN (Cc)	Módulo edométrico	Resist al corte sin drenaje, Cu
	ETGESTION GOVERN			γ _{6, φ} (t/m²)	(%)					c' (tim')	φ.0	Euro (t/m²) (^{m)}	Ks (t/m²)	(t/m²)	(t/m²)	(cm ² /sg)		(t/m²)	(tim²)
	Relleno antrópico	Rellenos	Vertidos	1,40-1,70	20-40	40-80	_	_	\$	0,0	28	300-500	800	400-700	1200-2000	_	1	550-850	0,50
	Depósitos aluviales Oto	Qtb1	Arenas con bastante arcilla/limo, medianamente densas	1,60-1,65	15-25	10-30	10-20	4-10	5-15	0,0-0,5	30-32	1350-1650	2500-2800	1900-2200	4700-6500	_	ı	_	_
NAMO	Depositos auvisito Oto	Qtb2	Arcillaty limos, firme	1,50-1,60	20-35	70-100	30-50	10-22	9-15	1,0-1,4	16-18	840-1120	1950-2500	1200-1600	6000-8000	0,0013-0,0015*	0,2-0,3	600-1800	5,5-7,0
CUATE	Niveles con alto contenido en Materia Orgánica. QMA	QMA	Nivel arcilloso con alto contenido en materia orgánica	0,5-0,70	90-140	94-100	140-190	90-115	4-8	0,15-0,25	9-11	140-210	380-450	200-300	1200-1800	0,005-0,006*	0,400	250-350	0,8-2,7
	Depósitos lacustres (Formación Sabana)	Qta1	Limos y arcillas de alta plasticidad, muy blando-blando	0,65-1,30	50-120	90-100	120-200	50-100	0-4	1-1,2	16-18	110-170	250-310	170-250	1020-1500	0,015-0,035"	0,500-1,20	170-310	2,0-2,2
	Gta	Qta2	Limos y arcillas de alta plasticidad, moderadamente firme y purtualmente firme	0,7-1,5	45-105	90-100	60-100	40-70	5-15	1,3-1,5	17-19	130-200	265-350	190-280	1140-1680	0,020-0,040*	0,450-0,950	200-350	2,2-2,5
	(a) En dos ensavos rsultaron N.P., a cesar del contenido de finos									(**) Para ar	iálisis de subsk	dencia							

(a) En dos ensayos risultaron N.P., a pesar del contenido de finos

"9 e ha adoptado un valor 10 veces mayor que el procedente de los ensayos, para tener en cuenta la experiencia real de campo en estos terrenos. Los ensayos vienen muy influidos por la permeabilidad de las piedras porosas.

Tabla 4. Parámetros geotécnicos de cálculo recomendados para diseño





3.4.4 Subsidencias regionales en el área afectada por la PLMB

El trazado de la PLMB se sitúa en su totalidad sobre materiales cuaternarios que pueden generar asientos por las siguientes causas: Procesos de desecación, Abatimiento del nivel freático por excavaciones Variación de las condiciones hidrogeológicas de control y batimiento del nivel freático por extracciones de agua subterránea.

Se ha realizado un cálculo de la posible subsidencia en base a espesores de suelos, compresibilidad de los mismos, permeabilidad, condiciones de frontera, presión de agua, obteniéndose valores de consolidación por cambios de nivel freático en varias hipótesis: Se ha realizado también una calibración de resultados con medidas reales así como realizado una previsiones a futuro, de cara a ver que asientos se producen entre los túneles con tuneladora y estaciones y a lo largo del túnel con tuneladora. Los resultados de asientos obtenidos son los siguientes:

TRAMO	TASAS DE ASIENTO EN CM/AÑO ESTIMADAS	ZONAS O ESTACIONES	MEDIDAS PREVISTAS A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO
TRAMO I	0,5-1,4	Todo el tramo	Ninguna
	0,5-1,4	Avda. 68-Santander	
TRAMO II	0,3-0,5	Hortúa-Rebeca	Ninguna
TIVAMO II	1,0-2,0	NQS	Ninguna
TRAMO III	0,3-0,5	Todo el tramo III y el inicio del IV	Ninguna
TRAMO IV	0,5-3,0	Tramo IV	Efectos graves sobre pantallas por fricción negativa ,

Tabla 5. Valores de asientos por subsidencias regionales

3.4.5 Estudio de riesgo sísmico

Se ha realizado un estudio de riesgo sísmico en términos de desplazamiento del terreno a nivel de roca para un nivel de amenaza correspondiente al de la **norma NSR10** y para un **evento máximo creíble**.

Para ello se ha recopilado la información de referencia e información geotécnica del proyecto; se han definido los perfiles de **rigidez dinámica de los suelos** a lo largo del proyecto; se ha analizado la **respuesta del terreno** para el sismo de Quetame; se ha realizado un análisis de respuesta **unidimensional y bidimensional** y validación de resultados para el sismo de Quetame. Representación

del comportamiento teniendo en cuenta el efecto de ondas superficiales así como un análisis de respuesta dinámica unidimensionales en sectores representativos del proyecto; a continuación se ha procedido a la identificación de los perfiles de deformación con la profundidad para el nivel de amenaza de la NSR10 y para el evento máximo probable, con evaluación del riesgo por licuación a lo largo del proyecto. Se ha evaluado también la interacción suelo-estructura para el túnel, interacción suelo-estructura para estructuras enterradas con pantallas (estaciones y túnel entre pantallas), se han definido las deformaciones de diseño y se ha evaluado las condiciones de diseño con base en información complementaria posterior al estudio.

Las recomendaciones de diseño para el análisis de interacción suelo-estructura han sido las siguientes:

	Tramo I			Tramo II			Tramo III			Tramo IV	
	Desplazar	niento de		Desplazar	miento de		Desplazar	niento de		Desplazar	niento de
	diseño	o (cm)		diseñ	o (cm)		diseño (cm)			diseño	o (cm)
Abscisa			Abscisa			Abscisa			Abscisa		
(m)	Máximo	NSR10	(m)	Máximo	NSR10	(m)	Máximo	NSR10	(m)	Máximo	NSR10
0	6.7	3.4	7000	5.4	2.7	14500	7.7	3.8	20500	3.8	1.9
500	6.8	3.4	7500	6.4	3.2	15000	7.0	3.5	21000	3.6	1.8
1000	6.4	3.2	8000	7.2	3.6	15500	5.9	3.0	21500	3.3	1.7
1500	5.8	2.9	8500	7.9	3.9	16000	4.8	2.4	22000	3.2	1.6
2000	5.0	2.5	9000	8.1	4.0	16500	3.7	1.8	22500	3.1	1.5
2500	4.2	2.1	9500	6.8	3.4	17000	2.8	1.4	23000	3.1	1.5
3000	3.5	1.7	10000	5.3	2.6	17500	2.3	1.2	23500	3.3	1.6
3500	2.9	1.4	10500	4.8	2.4	18000	2.7	1.4	24000	3.6	1.8
4000	2.5	1.3	11000	5.0	2.5	18500	4.2	2.1	24500	4.0	2.0
4500	2.5	1.2	11500	5.6	2.8	19000	4.1	2.1	25000	4.6	2.3
5000	2.6	1.3	12000	6.4	3.2	19500	4.2	2.1	25500	5.4	2.7
5500	3.0	1.5	12500	7.2	3.6	20000	4.1	2.0	26000	6.2	3.1
6000	3.7	1.8	13000	7.8	3.9				26500	7.1	3.5
6500	4.5	2.3	13500	8.1	4.1				27000	7.9	4.0
			14000	8.1	4.0				27200	8.3	4.1

Tabla 6. Recomendaciones de diseño para el análisis de interacción suelo-estructura

3.4.6 Estudio de materiales

La ejecución de las obras de la PLMB dará lugar a un volumen de material que deberá ser llevado a botadero de unos 8.600.000 m³ procedentes de la excavación de la tuneladora, pantallas, saneos y





excavación de las estaciones y del túnel entre pantallas. Se ha considerado un factor de expansión de 1.30. Las necesidades de materiales suman un total de 2.800.000 m³ para el relleno de patios y talleres y el relleno superior de tierras del túnel entre pantallas y estaciones.

En los alrededores del trazado de la PLMB y a distancias inferiores a los 30 km se han localizado un total de 7 botaderos capaces de albergar todos los tipos de materiales sobrantes que generará la obra; por su parte se han localizado un total de 10 canteras, en general de areniscas del grupo Guadalupe y situadas en las proximidades del trazado, que junto con los materiales de dos canteras que explotan materiales aluvial de alta calidad (estas dos últimas situadas a una distancia de 75-100 km) podrán abastecer de todos los materiales necesarios para la ejecución de la obra.

3.4.7 Licuación

Se ha realizado un análisis del potencial de la licuación de los suelos por los que discurre la PLMB empleándose dos métodos de contraste: Método del SPT según Seed e Idriss y Método basado en el CPT según Robertson and Wride.

En base a toda la información disponible, dada la baja proporción y pequeño espesor de suelos susceptibles de licuar (inferiores a 2 metros en cualquiera de los casos analizados y evaluados), las frecuentes intercalaciones de suelos de diferente naturaleza (granulometría, compacidad/consistencia y plasticidad) que se suceden en los depósitos cuaternarios, así como la falta de evidencias históricas reconocidas en la ciudad a lo largo de la zona objeto de estudio, se puede considerar que los suelos de Bogotá sobre los que discurre la PLMB no plantearán problemas de licuación en ninguno de los tramos proyectados.

3.4.8 Geotecnia de las obras de tierra. Patios y Talleres

Las únicas obras de tierra que se va a configurar en el área de estudio son las existentes en el predio de patios y talleres, en concreto la formación de un relleno que ocupará toda la parcela (unas 34 Ha). Sobre la antigua superficie de llanura de inundación del rio Bogotá que definía la parcela se han colocado unos rellenos antrópicos inertes con espesores variables.

Por criterios de inundabilidad es necesario elevar la cota de rasante de la parcela de patios y talleres hasta la 2.543,50, lo que supone la ejecución de un relleno de 2,50-3,00 m de altura.

Con este punto de partida, existen dos condicionantes geotécnicos fundamentales para el diseño de las instalaciones: la baja consistencia y alta compresibilidad de los suelos de la parcela y ausencia de un nivel resistente e indeformable en profundidad. Esto implica la producción de elevados asientos bajo cargas, como por ejemplo el peso del relleno a ejecutar para elevar la rasante, y que estos asientos afecten a niveles situados a gran profundidad. Además, la naturaleza arcillosa de los suelos detectados conlleva que la consolidación de los mencionados asientos suponga largos periodos de tiempo.

Con estos condicionantes se propone la ejecución de un tratamiento del terreno con un objetivo: la reducción de los asientos remanentes en el momento de construcción de estructura, superestructura e instalaciones.

El tratamiento del terreno consistirá en la colocación de mechas drenantes en malla triangular de 2 x 2 m y 40 m de longitud, y la ejecución de una precarga sobre el relleno (3+3 m de altura total). De manera previa a la hinca de las mechas, se retirarán los rellenos antrópicos y niveles de materia orgánica detectados superficialmente y se creará una plataforma de trabajo con material granular.

La precarga se mantendrá hasta un año. Transcurrido este tiempo, se retirará el exceso de relleno hasta alcanzar la cota necesaria. A largo plazo se obtiene un asiento remanente admisible.

Sobre este relleno, los distintos elementos se cimentarán superficialmente mediante zapatas y losas.

Los materiales de este relleno procederán de los excedentes del trazado, en concreto de los materiales excavados en el interior de las estaciones de los tramos I, II y III, que serán tratados para su secado y estabilizado con cal.

3.4.9 Geotecnia de las estructuras, estaciones y túnel entre pantallas

Información geotécnica de partida

Para las distintas comprobaciones geotécnicas se parte de la siguiente información:





- Perfil geotécnico de cálculo

Se establece, a partir de lo indicado por el informe geotécnico correspondiente, y de los reconocimientos geotécnicos ejecutados, para cada estación o para cada tramo de túnel entre estaciones, las secciones geotécnicas de cálculo que fueran necesarias según la variación longitudinal o transversal significativa de los niveles atravesados.

Estas secciones geotécnicas de cálculo, son representativas de un tramo de túnel y/o estación y contienen la caracterización geotécnica de los niveles atravesados, su posición y espesor, así como los parámetros geotécnicos a adoptar para modelar su comportamiento.

- Posición del nivel freático

Los niveles freáticos de cálculo se han obtenido a partir de las curvas envolventes de máximos y mínimos realizadas a partir de todas las mediciones efectuadas a lo largo del trazado, así como del estudio hidrogeológico.

La posición del nivel freático, además, viene afectada por los siguientes factores:

- 1. El efecto barrera inducido por las obras subterráneas de la PLMB.
- 2. El abatimiento por las excavaciones, ejecución de sótanos y reducción de la infiltración, así como por la extracción de aqua subterránea.
- 3. La inundabilidad o el eventual desbordamiento del Río Bogotá.

- Subsidencia regional y rozamiento negativo

La subsidencia regional consiste en un asentamiento del suelo debido al aumento de las tensiones efectivas causadas por un descenso del nivel freático. Estos asentamientos generarán esfuerzos parásitos como el rozamiento negativo en las pantallas del túnel y las estaciones, que deberán ser tenidos en cuenta.

Principales condicionantes geotécnicos

Los principales condicionantes geotécnicos que han determinado el diseño estructural y geotécnico de las estaciones y túnel entre pantallas son los siguientes:

- La baja consistencia o compacidad de los niveles atravesados
- Lo superficial del nivel freático

Estas dos circunstancias hacen necesaria la ejecución de un tratamiento de mejora del terreno del fondo de la excavación para que funcione a modo de puntal provisional durante la ejecución de la estación o tramo de túnel, disminuyendo esfuerzos y deformaciones y minimizando la afección a los edificios existentes en superficie.

Este tratamiento se realiza mediante jet-grouting, tratando todo el terreno bajo la contrabóveda en un espesor mínimo de 4 m.

Comprobaciones geotécnicas a realizar

Para cada estructura, estación o tramo de túnel entre pantallas se realizan las siguientes comprobaciones geotécnicas:

Flotación

Se realiza la comprobación de la flotación tanto a corto plazo o en situación provisional, como a largo plazo o en situación definitiva. La estabilidad frente a la flotación de una estación o tramo de túnel se realiza comparando acciones estabilizadoras (peso y rozamiento lateral) con las acciones desestabilizadoras debidas a la posición del nivel freático (subpresión). Se realiza la comprobación de las pantallas laterales y las pantallas interiores (si las hubiera).

Capacidad portante

La capacidad portante de cada estación o tramo de túnel se evalúa en función de comportamiento que vaya a presentar.

En el caso de que la estación o tramo de túnel vaya a funcionar como un bloque cimentado en una losa a gran profundidad, se realiza la comprobación e la capacidad portante del terreno frente a la carga total del conjunto, actuando a la cota del tapón de jet-grouting.

En el caso de que la estación vaya a funcionar como una cimentación pilotada, como ocurre en las estaciones cuya base se ve afectada por los fenómenos de subsidencia regional se comprueba que la





carga que llega a las pantallas es transmitida al terreno que la absorbe por rozamiento lateral y por resistencia por punta.

- Comprobación del tapón

El tapón de jet-grouting se calcula verificándose que es capaz de resistir el empuje del agua (en caso de que se considerara impermeable) o la reacción del terreno, transmitiendo la carga por adherencia a las pantallas de la estación. También se realiza su comprobación a flexión.

Geotecnia de las estructuras

Las estructuras en las que se han efectuado las mencionadas comprobaciones a lo largo del trazado de la PLMB han sido: 27 estaciones con cinco tipologías distintas, 12 pozos de salidas de emergencia, el pozo de ataque de las tuneladoras en el parque del Tercer Milenio, el túnel entre pantallas desde el pk 3+650 del Tramo III al final del Tramo IV, el Puesto de Control Central (PCC), las subestaciones eléctricas receptoras y los talleres y cocheras.

Los resultados obtenidos por tramos han sido los siguientes:

Tipología estructural	Nº o Longitud	Espesor pantallas	Longitud pantallas	Espesor tapón de fondo Max/Min
Estaciones	27	1.2m (Pantalla exterior) 1,0 m (Pantalla interior)	51m / 23m (Pantalla exterior) 34.7m / 6m (Pantalla interior)	9.5m / 4m
Accesos a estaciones	Aprox. 5 tipologías por estación	0.8m - 1.2m	54m / 10m	4.5m / 3m
Pozos de emergencia	12	1.2 m	47.7m / 21m	10m / 4m
Pozo de ataque tuneladoras en parque Tercer Milenio	1	1.2 m	29 m / 31m	4m
PP.KK. de túnel entre pantallas	11 tramos pk 3+650 del Tramo III al final del Tramo IV	1.2 m	55.7m / 8m	6.5m / 4 m
Puesto de Control Central (PCC)	1 Situado entre pk 5+580 y pk 5+650 del tramo I	Cimentación superficial tipo losa	-	-
Subestaciones eléctricas receptoras	3 Chicalá, Hortúa, Usaquén	Cimentación superficial mediante losa	-	-

Tipología estructural	Nº o Longitud	Espesor pantallas	Longitud pantallas	Espesor tapón de fondo Max/Min
Edificios en talleres y cocheras	Situados en Bosa 37	Cimentación superficial mediante zapatas o losas	-	-

Tabla 7. Resumen de resultados de geotecnia de estructuras

3.4.10 Geotecnia del ramal técnico

Por criterios hidrológicos de inundabilidad se establece la cota mínima de trazado para el ramal técnico en la 2.543,50 msnm. El desnivel se resolverá mediante la ejecución de una estructura desde el inicio del ramal técnico hasta la conexión con la parcela de patios y talleres.

Desde el punto de vista de la geotecnia de cimentación de esta estructura se diferencian dos tramos:

- PK 0+000-3+280: destaca la existencia de suelos de baja consistencia y elevada compresibilidad, sin haberse detectado un nivel resistente e indeformable en profundidad.
- PK 3+280-4+500: sobre los niveles descritos en el tramo anterior, destaca la existencia del basurero en la zona del predio de Gibraltar. Se observa un espesor de basura de hasta 10 m.

La cimentación de la estructura de ambos tramos se resuelve mediante pilotes flotantes, habiendo considerado en el segundo tramo el rozamiento negativo producido por el peso de los vertidos.

3.4.11 Estudio hidrogeológico

Se ha realizado un estudio hidrogeológico de la zona afectada por la PLMB cuyos objetivos han sido: aproximación al modelo hidrogeológico general de la Sabana de Bogotá así como calcular mediante el programa MODFLOW la interferencia que se produce entre las obras de la PLMB y las redes de flujo subterráneo de la Sabana de Bogotá, determinando las sobreelevaciones y descensos que se producen y en qué zonas y a la vista de ello adoptar las medidas paliativa necesarias que lo eviten.

Las unidades hidrogeológicas diferenciadas en la Sabana han sido: Substrato terciario impermeable (Fm. Bogotá), Suelos aluviales (Qtb), Suelos del Complejo de conos o Piedemonte (Qcc), Suelos lagunares (Qta), cuya distribución se corresponde con la expresada en los planos de geología general del trazado.





Los datos básicos que han alimentado al modelo han sido la distribución tridimensional de las distintas unidades hidrogeológicas obtenidas en la investigación geotécnica así como la posición y variaciones del nivel freático en los 332 sondeos perforados; junto a esta información se ha utilizado la bibliografía hidrogeológica existente.

A la vista de estos datos y realizado el cálculo de sobreelevaciones y descensos se han obtenido los siguientes resultados:

	PK	Permeabil	idad Base		abilidad 2		eabilidad x 5		eabilidad 100		
Tramo		Sobre- elevación	Depresión	Sobre- elevación	Depresión	Sobre- elevació n	Depresión	Sobre- elevació n	Depresión	Método constructivo	Observaciones
Tr II	5+900	0.20	0.00	0.20	0.00	0.60	-0.40	1.00	-0.80	Estación Hortúa en tramo túnel	Flujo casi perpendicular
Tr II	6+600	0.20	-0.20	0.20	-0.20	0.80	-0.60	1.20	-1.00	Pantallas	Cerca FB y flujo inverso
Tr II	7+200	0.20	-0.40	0.20	-0.40	0.80	-0.80	2.80	-2.00	Estación S. Victorino en tramo túnel	Nivel muy alto, FB aflora
Tr III	0+100	0.60	-0.40	0.60	-0.40	1.40	-0.80	2.20	-1.40	Túnel	Tramo de 700 m entre estaciones. Nivel alto
Tr III	0+400	0.60	-0.60	0.60	-0.60	1.80	-1.80	3.00	-2.20	Estación Lima en tramo túnel	Nivel alto, continuación de la anterior
Tr III	1+200	0.80	-0.80	0.80	-0.80	2.00	-2.00	3.20	-3.00	Estación La Rebeca en tramo túnel	Nivel muy alto, FB aflora, continuación de la anterior
Tr III	4+500	0.20	0.00	0.20	0.00	0.80	-0.20	1.40	-0.80	Pantallas entre Estaciones Marly y Sto. Tomás	FB cercana. Alm. Éxito
Tr III	4+700	0.20	0.00	0.20	0.00	0.80	-0.20	1.20	-0.80	Pantallas entre Estaciones Marly y Sto. Tomás	FB cercana. Alm. Éxito
Tr III	5+200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	-0.20	1.00	-0.40	Pantallas	FB cercana. Alm. Éxito

Tabla 8.-Distribución por PK de ascensos y descensos del NF para distintos valores de permeabilidad base

Las medidas paliativas propuestas para evitar los ascensos y descensos del nivel freático a ambos lados de la PLMB consisten en la construcción de módulos de pantallas drenantes situados a ambos lados de la PLMB y conectadas mediante un Bypass de manera que el agua pasa de la zona sobreelevada a la zona deprimida. Las medidas de estos módulos de pantallas drenantes serán de 3.5 m de largo, 0.6 m de ancho y una profundidad de unos 3 m bajo la cota de rasante del Metro y separados uno de otro 20 m.

Para ver la eficacia de estas medidas paliativas se realizó un nuevo cálculo con el programa MODFLOW. La hipótesis de permeabilidad utilizada en los distintos niveles hidrogeológicos es la de permeabilidad base multiplicada por 5, observándose que estos elementos drenantes son muy eficaces, recomendándose ejecutar estas medidas paliativas en las siguientes zonas:

TRAMO	PK INICIO	PK FIN	LONGITUD PARCIAL (m)	LONGITUD TOTAL (m)
II	5+700	7+329 (FIN TRAMO)	1.629	6.839
III	0+000	5+210	5.210	

Tabla 9.-Longitud de trazados afectados por las medidas paliativas

3.4.12 Estudio de gasolineras

A lo largo del trazado de la PLMB y en sus proximidades se han localizado un total de 20 estaciones de servicio situadas a una distancia máxima de 250 m y cuyas hipotéticas filtraciones pueden afectar tanto al túnel durante su excavación con tuneladora como a los trabajadores.

Se ha llevado a cabo, en primer lugar, una investigación consistente en la ejecución de 18 sondeos de 20 m de profundidad en cada una de las gasolineras así como ensayos de contenido de Head-Space de los suelos durante el avance de la perforación, por otra parte se han realizado toma de muestras, 2 muestras de suelo y 1 de agua para ensayos de laboratorio tipo BTEX, TPH: FRACCIONES GRO, TPH: FRACCIONES DRO, MTBE, ETBE, CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA y PH.

Con estos datos se ha realizado un análisis de riesgo con los siguientes resultados:

SONDEO	ESTACIÓN DE SERVICIO	ENSAYO ANALIZADO	VALOR	RIESGO	TRAMO
SB-2	TV 78H BIS ENTRE AV. VILLAVICENCIO Y CL 42GS, BOMBA BIOMAX (EDS. RUNCAR)	TPH (total) suelo 2	211	ACEPTABLE	I
SB-4	AV PRIMERO DE MAYO ENTRE DG 37S Y CL 35BS CALZADA SUR, BOMBA ESSO (EDS	TPH (total) suelo 1 BTEX (Agua)	584.7 15.000	NO ACEPTABLE	ı
3D-4	TIMIZA)	TPH (total) Agua	41.910	(Escenario 1)	'
SB-9	AV. PRIMERO DE MAYO ENTRE KR 52 Y KR 52A	TPH (total) suelo 1 BTEX (Agua)	396 18.000	NO ACEPTABLE	ı
30-3	CALZADA SUR; BOMBA TEXACO	TPH (total) Agua	45.500	(Escenario 2)	'
SB-12	AV. DE LA HORTÚA (AC 1) ENTRE KR 24 Y KR 24B CALZADA NORTE; BOMBA TERPEL GAZEL	TPH (total) suelo 2	1.810,7	ACEPTABLE	II
SB-15	AV. CARACAS (AK 14) ENTRE CL 2 Y DG 2 CALZADA ORIENTAL, BOMBA BIOMAX (E.D.S SAN BERNARDO)	TPH (total) Agua	5.167,7	ACEPTABLE	II
SB-16	CL 46 ENTRE AK 7 Y KR 8, BOMBA PETROBRAS (EDS. JAVERIANA)	TPH (total) Agua	5.167,7	ACEPTABLE	III
SB-20	AC 100 ENTRE KR 11B Y KR 11 CALZADA SUR,	TPH (total) suelo 2	110,05	ACEPTABLE	IV





SONDEO	ESTACIÓN DE SERVICIO	ENSAYO ANALIZADO	VALOR	RIESGO	TRAMO
	BOMBA ESSO				
SB-24	AK 9 ENTRE CL 123 Y CL 124 CALZADA ORIENTAL, BOMBA BRIO	TPH (total) suelo 2	170,55	ACEPTABLE	IV

Tabla 10.-Análisis de riesgo en estaciones de servicio

Respecto a los riesgos generados por posible presencia de gas procedente de los vertidos de las gasolineras durante la perforación de la tuneladora, éstos son despreciables dado la baja presencia de gases procedentes de gasolineras y que ésta se localiza a una profundidad mayor a la que se localizan los vertidos de gasolineras.

3.4.13 Presencia de gas metano. Distribución y medidas paliativas

Durante la ejecución de la campaña de sondeos se ha detectado la presencia irregular de gas a diferentes profundidades (menores a 50 m) y con diferente cuantía, lo que se traducía en que dicho gas se manifestaba, en el menor de los casos, mediante un chorro de gas, agua y arena de hasta 7 m de altura y duración entre 2-3 días, hasta su práctica desaparición y en la mayor parte de los casos el gas se manifestaba una vez terminada la perforación y retirada la tubería de revestimiento, en una cuantía muy baja, solamente observada cuando se realizaban medidas de contenido de metano.

La presencia de gas es prácticamente despreciable en los tramos III y IV y en los Patios y Talleres, no así en los tramos I y II donde se da la mayor concentración.

TRAMO	Nº DE SONDEOS CON GAS
I	15
II	32
III	3
IV	2

Tabla 11.- Nº de sondeos con gas

La causa de la presencia de gas en el trazado es consecuencia directa de la materia orgánica depositada entre los materiales situados bajo el trazado y del proceso de degradación de la misma.

Esta presencia de metano en los tramos I y II, que se ejecutarán mediante tuneladora, genera un riesgo de deflagración en la tuneladora, lo que ha dado lugar a que en la misma y en el resto de las instalaciones se tomen una serie de medidas paliativas como son: monitorización del gas mediante metanómetros en

cabeza de corte, en las proximidades del operador y en la salida de ventilación; sistemas eléctricos antideflagrantes en tuneladora; sistemas de ventilación forzada en tuneladora (Hiperventilación); protección colectiva en tuneladora y plan de actuación colectiva para casos de emergencia.

3.4.14 Profundidad substrato terciario

El substrato rocoso se ha localizado a lo largo del trazado de la PLMB, con la investigación realizada de sondeos de 50 m de profundidad, en el tramo III y el final del tramo II. En el resto del trazado la profundidad del substrato es mayor a estos 50 m.

Para solventar esta escasez de información se han llevado a cabo un total de 4 sondeos profundos, 1 en el tramo II (SP-3) y 3 en el tramo IV (SP-4, SP-5, SP-6) con los siguientes resultados:

TRAMO	INVESTIGACIÓN REALIZADA	SUBSTRATO		PP.KK.	
I	Sondeos proyecto	350 m-370 m (Estimado)	350 m-370 m (Estimado)	0+000-6+580	
II .	Sondeos proyecto	20 m a > 50 m	20 m-240 m	0+000-7+320	
	SP-3	299,5	20111 240 111	2+770	
III	Sondeos proyecto	24 m a >50 m	24 m a >50 m	0+000-6+140	
IV	Sondeos proyecto	20 m a > 50 m		0+000-6+900	
	SP-4	117,3 m	60 m-166 m	1+080	
	SP-5	166 m	00 111 100 111	4+400	
	SP-6	123,4 m]	6+720	

Tabla 12.- Resultados de sondeos profundos

El espesor de los suelos cuaternarios es un dato muy importante para el estudio de riesgo sísmico ya que la amplificación de la onda sísmica a su paso por los suelos está en función de su espesor.

En los 4 sondeos profundos se ha introducido una varilla metálica rígida, anclada en el substrato terciario y que servirá, a futuro, como punto de control topográfico, para el control de los asientos de la Sabana de Bogotá que se generarán por el fenómeno de la subsidencia.





3.4.15 Plan de auscultación y control

La excavación de cualquier obra subterránea en suelos provoca una alteración en el estado tensional inicial del terreno, lo que se traduce en un campo de desplazamientos hacia la zona excavada cuya magnitud depende de diversos factores, tanto asociados a la naturaleza de los materiales como al procedimiento de excavación, al método constructivo elegido y a la rigidez del sistema de sostenimiento del terreno. En consecuencia, el diseño de los sistemas y procesos de excavación debe contemplar estos desplazamientos para limitarlo dentro de parámetros admisibles por las propias obras y el entorno.

Durante la ejecución de las obras, el único procedimiento disponible para comprobar que los movimientos y esfuerzos realmente inducidos se encuentran por debajo de los umbrales admisibles, tanto para la propia obra como en el entorno, es el seguimiento y lectura de estas variables. En puntos particularmente sensibles, es necesario disponer sensores de medida que permitan, mediante lecturas programadas, controlar el desarrollo de la obra en estos aspectos.

En obras subterráneas y excavaciones a cielo abierto, las magnitudes que se controlan son muy variadas siendo, en esencia, la variable que se mide directamente el desplazamiento.

Los desplazamientos a medir son los de la propia obra y la influencia en el entorno. La influencia de las obras en el entorno afecta a un conjunto de elementos que están relacionados entre sí:

- Terreno
- Agua freática
- Edificaciones, estructuras e infraestructuras existentes (fundamentalmente carreteras, y galerías de servicios)

Para el control de cada una de las magnitudes que se consideran indicativas del comportamiento de las obras a construir se emplean diferentes elementos.

La medida de las deformaciones del revestimiento en el túnel y del movimiento relativo entre pantallas se realizará con cinta extensométrica, o bien mediante dianas reflectantes y estación total.

Las cargas actuantes sobre los elementos estructurales (dovelas y pantallas) durante las diferentes fases del proceso constructivo se miden mediante Células de presión total de cuerda vibrante, instaladas

paralelas al revestimiento (dovelas en el caso del túnel de línea excavado con EPB) con el fin de medir el empuje del terreno sobre la estructura.

Para conocer la tensión de trabajo en el interior de los elementos estructurales (pantallas y dovelas) se instalarán extensómetros de cuerda vibrante en las armaduras de las mismas, dentro de la masa de concreto.

Con el objeto de tener una información más detallada de las deformaciones de las pantallas, tanto del túnel como de las estaciones y salidas de emergencia, se dejarán embebidos en los módulos de pantallas en secciones de control tubos inclinométricos. Estos tubos inclinométricos para control de deformaciones transversales alcanzarán una profundidad tal que su extremo inferior se situará, al menos, cinco (5) metros por debajo del pie de la pantalla.

Para controlar las posibles oscilaciones del nivel freático se dispondrán piezómetros de cuerda vibrante o piezómetros abiertos que consisten en un tubo de PVC ranurado que se introduce en el terreno a través de una perforación vertical próxima a la excavación. Tienen como finalidad, la medida del nivel del agua subterránea (nivel piezométrico).

Previamente a la ejecución de obras se llevará a cabo un inventario con fotografías de todos los edificios que puedan resultar afectados en el trazado, con especial atención a las fisuras y grietas existentes. Además se tendrán en cuenta otros factores tales como tipo de cimentación, existencias de sótanos, alturas, tipo de estructura, antigüedad, proximidad a la excavación, proximidad a servicios de gas, agua, luz, colectores, y valor histórico.

Desde antes del inicio de las obras, se deberá crear un archivo general donde se actualice permanentemente el historial de eventuales grietas o fisuras que pudieran existir previamente al inicio de la obras o pudieran aparecer durante el transcurso de las mismas desde el comienzo de la obra hasta el final de las mismas. El control de grietas se debe extender también a los servicios de mayor interés que puedan verse afectados.

Para controlar los edificios, independientemente del control establecido en cuanto a las grietas se refiere, se debe organizar una campaña de seguimiento del edificio mediante taquímetro, controlando los





movimientos de alguna arista del edificio y observar si en la cabeza del mismo se producen desalineaciones en el sentido longitudinal y transversal del túnel.

Para el seguimiento de giros o desplomes se han de interpretar los resultados a través de las regletas de nivelación citadas anteriormente y de inclinómetros situados entre el edifico y las excavaciones.

Con la finalidad de conocer los movimientos que como consecuencia de las excavaciones se generen en la superficie del terreno en el entorno de las mismas, se suelen colocar, desde la superficie del terreno, "arquetas de nivelación" o también llamadas "hitos de nivelación" dispuestos transversalmente a la dirección del túnel. Su número dependerá del ancho de la calle y de la distancia a los edificios próximos.

La realización de la nivelación de precisión se llevara a cabo por medio de un nivel topográfico con micrómetro con una precisión de ± 0,01 mm. Las miras a utilizar deberán ser Invar para garantizar la precisión en las medidas.

Estos aparatos serán utilizados para la toma de medidas de dispositivos topográficos, tales como escalas o regletas de nivelación, hitos de nivelación o extensómetros de varilla.

La importancia y complejidad de las diferentes tareas a desarrollar, exige que se disponga, en obra, de un equipo técnico dedicado exclusivamente a la realización de todas las actividades relacionadas con la auscultación de las obras.

La adquisición de datos se efectúa de varias formas independientes, que serán función del emplazamiento de los equipos instalados. Todas las adquisiciones de datos parten de una lectura inicial que servirá de origen y referencia a las sucesivas.

Dependiendo del sistema de excavación que se emplee variará la frecuencia de lecturas. No obstante, podrá ser modificada en función de los resultados obtenidos, de la evolución de los registros o de la superación de los umbrales de control establecidos.

Se establecen tres niveles de riesgo:

- VERDE: zonas sin edificación o zonas donde los edificios están alejados más de 30 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.
- ÁMBAR: edificios a una distancia entre 10 y 30 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.
- **ROJO**: edificios situados a una distancia menor de 10 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.

En el caso de la excavación del túnel con tuneladora, la frecuencia de las lecturas dependerá del nivel de riesgo establecido previamente, y de la distancia desde el frente del túnel.

En el caso de la excavación del túnel entre pantallas y en la ejecución de las estaciones entre pantallas, la frecuencia de las lecturas dependerá del nivel de riesgo establecido previamente, y de la distancia al vaciado.

Se establecen unos umbrales de riesgo de movimientos admisibles establecidos en función de los movimientos y edificación según la siguiente tabla:

MOVIMIENTOS ADMISIBLES										
UMBRAL DE CONTROL	ASIENTO ADMISIBLE (mm)		DISTORSIÓN ANGULAR		DEFORMACIÓN HORIZONTAL UNITARIA (%)					
	Verde	Ámbar	Rojo	Verde	Ámbar	Rojo	Verde	Ámbar	Rojo	
Zonas sin edificaciones.	<50	50 a 100	>100	<1/100	1/100 a 1/50	>1/50	<1,5	1,5 a 2,0	>2,0	
Edificios cimentados profundos o con losa, en buen estado. Conducciones de no gas.	<20	20 a 30	>30	<1/1000	1/1000 a 1/500	>1/500	<0,15	0,15 a 0,20	>0,20	
Estructura subterránea o túneles existentes.	<15	15 a 25	>25	<1/2000	1/2000 a 1/1000	>1/1000	<0,15	0,15 a 0,20	>0,20	
Edificios cimentados superficialmente, sin daños aparentes.	<10	10 a 15	>15	<1/2000	1/2000 a 1/1000	>1/1000	<0,15	0,15 a 0,20	>0,20	
Edificios cimentados superficialmente con daños. Edificios monumentales. Edificios con más de 10 alturas (con cimentación profunda). Tuberías de gas.	<5	5 a 10	>10	<1/3000	1/3000 a 1/2000	>1/2000	<0,05	0,05 a 0,10	>0,10	
Túneles existentes.	10 mm/10 m									

Tabla 13.- Plan de auscultación y control. Niveles de riesgo

Se debe establecer durante la ejecución de las obras un procedimiento por el cual se garantice que absolutamente toda la información sea en cierta forma leída, y comparada con los valores previstos.

Para llevar a la práctica lo propuesto en el Plan de Auscultación existe una Unidad de Seguimiento que comprende los servicios de Asistencia técnica a la Dirección de los trabajos para la realización de la





Supervisión Geotécnica e Hidrogeología, Instrumentación (Monitoreo), su seguimiento y análisis de resultados, en las obras de construcción de la PLMB.

3.5 Estudio de demanda

3.5.1 Introducción

Con el objetivo de determinar la demanda de la PLMB el Consorcio L1 encarga el correspondiente estudio a la firma Steer Davies Gleave, quien lo desarrolla de manera coordinada con la Secretaría Distrital de Movilidad.

El alcance del estudio incluye, para la evaluación de demanda de la PLMB, desde el Portal de las Américas hasta la calle 127, en dos cortes temporales, 2021 (fecha prevista para el inicio de la operación) y 2050 (30 años adicionales desde el inicio de la operación):

- Estimación de vectores socioeconómicos futuros
- Generación de matrices de demanda de transporte público
- Actualización del trazado y estaciones del Metro en el Modelo de Asignación
- Estimación de carga máxima por sentido en la hora pico.
- Estimación de entradas y salidas por estación en la hora pico y el día típico.
- Estimación de número de transbordos con la Red Metro Ligero y Transmilenio en la hora pico y el día típico.

Forma también parte del estudio la evaluación de la ampliación al Nor-Occidente de la PLMB mediante modelación de tres escenarios: extensión a Calle 80 (Engativá) "RA", extensión a Suba "RB", y extensión en "Y" Suba-Calle 80 (Engativá), con el siguiente alcance:

- Modelación de las diferentes extensiones de la línea
- Estimación de carga máxima por sentido en la hora pico
- Estimación de entradas y salidas por estación en la hora pico y el día típico.
- Estimación de número de transbordos con la red metro ligero y Transmilenio en la hora pico y el día típico.
- Estimación de perfiles de carga de la línea de metro en la hora pico.

Según lo acordado con la Administración Distrital y con el fin de que se emplearan los insumos más recientes disponibles en el momento en el cual se llevó a cabo este estudio, en la estimación de la demanda de la PLMB se empleó dos herramientas de modelación:

- Modelo de Generación (producción y atracción de viajes para generar las matrices futuras), que fue actualizado con la zonificación y tasas provenientes de la Encuesta de Movilidad de 2011 dentro del marco del estudio "Elaboración de los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto Cobros por Congestión para la ciudad de Bogotá D.C." encargado por la Secretaría Distrital de Movilidad a Steer Davies Gleave.
- Modelo de Asignación de Transporte Público de la ciudad, como parte del estudio denominado "Estudio de Pre-inversión para la Estimación y Caracterización de la Demanda de la Red Metro Ligero de la Ciudad de Bogotá", encargado por la Corporación Andina de Fomento a Steer Davies Gleave

Se evaluaron dos posibles escenarios de crecimiento de la ciudad, como aproximaciones que permitieron obtener vectores socioeconómicos para los cortes temporales 2021 y 2050, denominados Tendencial y Administración Distrital.

Las principales fuentes de información y supuestos asociados a cada uno de estos escenarios son:

Tendencial

- Población y Cupos de Educación 2021, provenientes de la Consultoría denominada "Elaboración de los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto Cobros por Congestión para la ciudad de Bogotá D.C."
- Población 2050 proveniente del estudio denominado "Plan Marco del Sistema Integrado de Transporte Urbano Regional (SITUR) a un horizonte de 30 años. 2012-2042".
- Cupos de educación 2050 obtenidos asumiendo la misma tasa de escolaridad 2021 para la población 2050.





- Estimación de usos del suelo 2021 y 2050 a partir del total de metros cuadrados requeridos para soportar el crecimiento poblacional previsto. Distribución de los metros cuadrados según proyectos y planes parciales aprobados y en curso y la normativa aplicable (Edificabilidad Máxima, Estructura Socioeconómica y Espacial, y Usos y Áreas de Actividad del Decreto 364 de 2013).
- El total de población 2050 se reubica en las diferentes zonas de transporte, teniendo en cuenta la distribución de metros cuadrados de uso residencial.

Administración Distrital

- Población y Cupos de Educación 2021, provenientes de la Consultoría denominada "Elaboración de los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto Cobros por Congestión para la ciudad de Bogotá D.C."
- Población 2050 proveniente del estudio denominado "Plan Marco del Sistema Integrado de Transporte Urbano Regional (SITUR) a un horizonte de 30 años. 2012-2042".
- Cupos de educación 2050 obtenidos asumiendo la misma tasa de escolaridad 2021 para la población 2050.
- Estimación de usos del suelo 2021 y 2050 a partir del total de la información entregada por la Secretaría Distrital de Planeación, correspondiente a los metros cuadrados futuros para predios adyacentes a la PLMB. A partir de este punto, para completar los totales de metros cuadrados requeridos 2021 y 2050 según el crecimiento poblacional previsto, se empleó lo establecido por el Decreto 364 de 2013.
- El total de población 2050 se reubica en las diferentes zonas de transporte, teniendo en cuenta la distribución de metros cuadrados de uso residencial.

La principal diferencia entre los dos escenarios corresponde a los supuestos de gradualidad y ubicación de las construcciones nuevas, lo cual resulta en una distribución de usos del suelo y población diferente dentro de la ciudad. Para los dos escenarios se estimaron los metros cuadrados totales de cada uso POT necesarios para soportar el crecimiento poblacional proyectado a 2021 y 2050. La distribución espacial de los metros cuadrados construidos se llevó a cabo bajo supuestos distintos.

Para el escenario Tendencial se partió de los proyectos y planes parciales aprobados o en curso y se completaron las áreas requeridas a partir de la Modificación Excepcional del POT (Edificabilidad Máxima, Estructura Socio Económica y Espacial, y Usos y Áreas de Actividad del Decreto 364 de 2013).

En el escenario Administración Distrital se estima el impacto en la demanda, si se aumenta la densidad significativamente a lo largo del corredor del Metro, suponiendo nuevas construcciones para diferentes tipos de usos. La Secretaría Distrital de Planeación suministró los metros cuadrados por tipo de uso en los predios aledaños a la PLMB y se completaron las áreas requeridas a partir de la Modificación Excepcional del POT (Edificabilidad Máxima, Estructura Socio Económica y Espacial, y Usos y Áreas de Actividad del Decreto 364 de 2013). El escenario Administración Distrital se construyó de forma adicional, buscando validar los resultados obtenidos inicialmente con el escenario tendencial.

Los vectores socioeconómicos obtenidos en cada caso fueron socializados con la Secretaría Distrital de Planeación, Secretaría Distrital de Movilidad, Transmilenio S.A. e IDU. Los resultados de ese análisis son el punto de partida para el estudio de demanda realizado.

Las proyecciones de población y su distribución en la ciudad definen en gran parte los resultados de demanda de los diferentes Sistemas de Transporte Masivo en la ciudad. Para el presente estudio y por solicitud de la Administración Distrital, la población para el escenario 2050 proviene del supuesto empleado por el Plan Marco SITUR, correspondiente a una tasa de crecimiento del orden de 3% anual en municipios y 0,9% anual en Bogotá. Las tasas indicadas implican mayor intensidad en la ubicación de población en municipios cercanos, y una disminución en el ritmo de crecimiento de Bogotá. Esto afecta directamente a los resultados del estudio, ya que resulta en incrementos significativos en los viajes producidos en municipios cercanos y atraídos por Bogotá.

3.5.2 Resultados de Demanda

Los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios evaluados se pueden resumir en valores de carga máxima en la hora pico, ascensos y descensos por estación por sentido en la hora pico y en el día típico, transferencias entre modos en la hora pico y perfiles de carga para la hora pico y la hora valle.





En los escenarios de asignación 2050, se incrementaron los intervalos de las rutas de transporte masivo que compiten con el Metro, buscando simular una restricción de la capacidad hasta obtener cargas máximas del Sistema Transmilenio en valores razonables con la posible máxima capacidad.

Para el corte 2021 no existen diferencias relevantes entre los dos escenarios que puedan implicar cambios en el proceso de diseño (variación del 3% en la carga máxima en la hora pico, que es mayor, cuando se asume mayor densidad en los predios ubicados en el área de influencia del metro). Sin embargo, para el corte 2050 sí que existe una diferencia más elevada entre ambos escenarios, un incremento del 11% si se densifica el corredor del Metro, siendo mayor la demanda del escenario Administración Distrital. La carga máxima en la hora pico con tráfico inducido y transferido para la PLMB es de 70.150 pax/hr/sentido para el escenario Tendencial y de 77.625 pax/hr/sentido para el escenario Administración Distrital.

En la siguiente tabla pueden verse las cargas máximas por tramo en la hora pico en los dos escenarios y para las distintas hipótesis de Línea.

		CARGA MÁXIMA POR	
ESCENAR	10	TRAMO	
Tendencial			
	PLMB		
	2021	43.200	
	2050	70.150	
	Extensión "RA"		
	2021	45.360	
	2050	73.600	
	Extensión "RB"		
	2021	45.360	
	2050	73.600	
	Extensión en "Y"		
	2021	45.360	
	2050	73.600	
Administración Distrital			
	PLMB		
	2021	44.310	
	2050	77.625	
	Extensión "RA"		
	2021	46.420	
	2050	79.875	

ESCENARIO		CARGA MÁXIMA POR TRAMO (pax/hr/sentido)
	Extensión "RB"	
	2021	46.420
	2050	81.000
	Extensión en "Y"	
	2021	46.420
	2050	81.000

Tabla 14.- Carga máxima de pasajeros por tramo en la hora pico

El número de viajes en hora pico es de 88.170 en 2021 y de 167.820 en 2050 para el escenario tendencial. Para esos mismos cortes temporales de 2021 y 2050, escenario administración distrital, el número de viajes en hora pico es de 96.570 y 182.310 respectivamente. La distribución de las entradas y salidas en la hora pico se presenta a continuación:

ESCENARIO	ABORDAJES	ABORDAJES	DESCENSOS	DESCENSOS		
	INICIALES	TRANSFERENCIA	FINALES	TRANSFERENCIA		
Tendencial						
2021	43.220	44.950	62.260	25.920		
2050	79.360	88.460	111.140	56.670		
Administración D	istrital					
2021	53.560	43.010	65.500	31.070		
2050	94.110	88.200	120.820	61.480		

Tabla 15.- Distribución de entradas y salidas de pasajeros en la hora pico

El número de viajes diario (para un día típico) es de 764.750 en 2021 y de 1.433.820 en 2050 para el escenario tendencial. Para esos mismos cortes temporales de 2021 y 2050, escenario administración distrital, el número de viajes diario es de 834.690 y 1.560.220 respectivamente. La distribución de las entradas y salidas en el día típico se presenta a continuación:

ESCENARIO	ABORDAJES ABORDAJES INICIALES TRANSFERENCIA		DESCENSOS FINALES	DESCENSOS TRANSFERENCIA	
Tendencial					
2021	376.900	387.850	538.950	220.990	



	ABORDAJES	ABORDAJES	DESCENSOS	DESCENSOS				
ESCENARIO	INICIALES	TRANSFERENCIA	FINALES	TRANSFERENCIA				
2050	690.240	743.580	966.300	482.810				
Administración Distrital								
2021	466.000	368.690	569.740	265.020				
2050	819.900	740.320	1.054.020	523.130				

Tabla 16.- Distribución de entradas y salidas de pasajeros en el día típico

El escenario recomendado es el escenario Tendencial ya que es aquel sobre el que se tiene mayor certeza por haberse construido a partir de proyectos urbanísticos aprobados y en curso.

Adicionalmente, se aplicaron los siguientes factores de tráfico transferido e inducido y factores de expansión a las salidas del modelo de demanda.

Factores Aplicados	Valor
Expansión HP-Día Sistema	8,8
Expansión HP-Día Portal	6,7
Tráfico Transferido 2021	3%
Tráfico Transferido 2050	10%
Tráfico Inducido	5%

Tabla 17.- Factores aplicados al modelo de demanda

Para 2021, en relación con los perfiles de carga obtenidos, al analizar únicamente la PLMB se presenta un desequilibrio si se compara el sentido Sur-Norte (pico) con Norte-Sur. En 2050 se aprecia una tendencia similar.

La entrada en operación de los ramales genera un incremento en la carga máxima por tramo, que como resultado del estudio de demanda se obtiene una carga máxima de 73.600 pax/hr/sentido.

Considerando la entrada en operación de los ramales, el número de viajes en hora pico, para el caso de la extensión en "Y" y el escenario tendencial es de 158.000 en 2021 y 269.070 en 2.050. Para esos mismos cortes temporales de 2021 y 2050, escenario administración distrital, el número de viajes en hora pico es de 158.730 y 279.780 respectivamente. La distribución de las entradas y salidas en la hora pico se presenta a continuación:

ABORDAJES ABORDAJES DESCENSOS DESCENSO									
ESCENARIO	INICIALES	TRANSFERENCIA	FINALES	TRANSFERENCIA					
Tendencial									
		Extensión "RA"							
2021	73.770	62.010	91.570	44.230					
2050	121.840	123.970	155.490	90.340					
Extensión "RB"									
2021	92.040	62.290	94.590	59.780					
2050	136.660	121.880	158.210	100.360					
		Extensión en "Y"							
2021	96.520	61.480	97.520	61.540					
2050	144.620	124.450	162.600	106.440					
Administración D	istrital								
		Extensión "RA"							
2021	83.130	57.820	92.200	48.720					
2050	135.580	121.950	163.580	93.960					
		Extensión "RB"							
2021	96.970	58.150	94.640	60.520					
2050	149.680	119.390	166.170	102.990					
	L	Extensión en "Y"		1					
2021	101.060	57.670	96.840	61.890					
2050	157.610	122.170	170.490	109.340					

Tabla 18.- Distribución de entradas y salidas de pasajeros en la hora pico. Considerando ramales a Suba y Engativá

Por otro lado, el número de viajes diario (para un día típico), para el caso de la extensión en "Y" y el escenario tendencial es de 1.383.970 en 2021 y de 2.306.220 en 2050. Para esos mismos cortes temporales de 2021 y 2050, escenario administración distrital, el número de viajes diarios es de 1.376.500 y 2.399.970 respectivamente. La distribución de las entradas y salidas en el día típico se presenta a continuación:

	ABORDAJES	ABORDAJES	DESCENSOS	DESCENSOS			
ESCENARIO	INICIALES	TRANSFERENCIA	FINALES	TRANSFERENCIA			
Tendencial							
Extensión "RA"							





	ABORDAJES	ABORDAJES	DESCENSOS	DESCENSOS
ESCENARIO	ENARIO INICIALES TRANSFERE		FINALES	TRANSFERENCIA
2021	645.450	533.940	796.580	375.380
2050	1.063.790	1.038.440	1.356.350	769.670
	1	Extensión "RB"		1
2021	806.260	536.910	823.050	512.510
2050	1.194.260	1.022.040	1.380.160	858.520
	1	Extensión en "Y"		1
2021	854.480	529.490	848.810	526.240
2050	1.264.220	1.042.000	1.418.830	909.910
Administración D	Distrital			
		Extensión "RA"		
2021	725.960	493.780	804.200	414.590
2050	1.184.310	1.020.460	1.429.510	799.740
	l	Extensión "RB"		
2021	847.810	497.380	825.590	518.710
2050	1.308.440	1.000.180	1.452.180	879.910
	ı	Extensión en "Y"		
2021	883.750	492.750	844.960	529.410
2050	1.378.180	1.021.790	1.490.160	933.670

Tabla 19.- Distribución de entradas y salidas de pasajeros en el día típico. Considerando ramales a Suba y Engativá

3.6 Evaluación de alternativas entre Avenida 68 y San Victorino

3.6.1 Introducción

Este estudio de alternativas trata de seleccionar un trazado entre las estaciones de Avenida 68 y San Victorino, entre tres alternativas que presentan una menor afección al entorno urbanístico, mayor captación de usuarios, mejora de los tiempos de recorrido de la línea y de las velocidades comerciales, así como una mejor explotación del sistema.

En el año 2011 la Secretaría Distrital de Movilidad elaboró un documento con dos alternativas nuevas entre las citadas estaciones. A estas alternativas, el Consorcio L1 propone una tercera resultado de la combinación de las dos anteriores, que son las que se consideran para el estudio de alternativas.

El contenido de este estudio de alternativas es el siguiente:

- 1. Formulación y caracterización de alternativas
- 2. Análisis Ambiental
- 3. Estudio de demanda
- 4. Análisis territorial y urbano
- 5. Análisis socioeconómico
- 6. Estudio operacional y oferta de transporte
- 7. Estudios de costos y financieros
- 8. Análisis multicriterio y selección de alternativa

3.6.2 Formulación y caracterización de alternativas

Se describen a continuación las alternativas formuladas:

Alternativa 1

Recorrido: Avda. Primero de Mayo, Avda. Caracas

Longitud: 8.491 m

Estaciones (8) Avda. 68, Rosario, NQS, Carrera 27, Parque Olaya, San Antonio, Hortúa y San Victorino

Alternativa 2

Recorrido: Transversal 53, Avda. Fucha, Avda. Hortúa, Avda. Caracas

Longitud: 7.456 m

Estaciones (7) Avda. 68, Carrera 50, Parque Santa Matilde, Santander, Nariño, Hortúa y San Victorino

Alternativa 3

Recorrido: Avda. Primero de Mayo, Avda. del Sur, Avda. Fucha, Avda. Hortúa, Avda. Caracas

Longitud: 7.425 m

Estaciones (7) Avda. 68, Rosario, NQS, Santander, Nariño, Hortúa y San Victorino



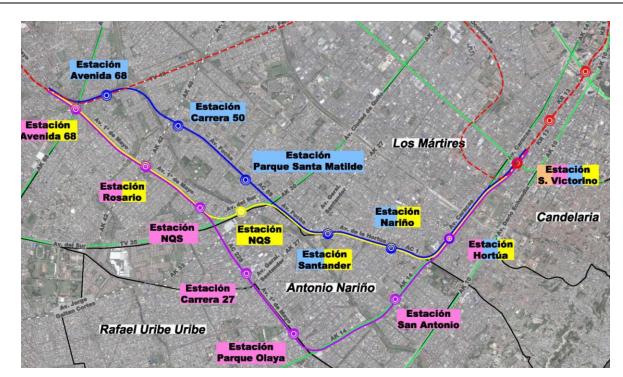


Figura 13.- Descripción alternativas consideradas en el estudio

Para la caracterización de alternativas se tiene en cuenta además de la longitud de su trazado y número de estaciones a lo largo del mismo, el número de conexiones con Transmilenio, la población servida y los costos de obra civil, equipamientos y material rodante.

Análisis Ambiental

Este análisis incluye para cada una de las alternativas la afectación de la arborización, la identificación del componente hidráulico, el inventario de los bienes de interés cultural, la afectación a zonas verdes y zonas verdes pertenecientes a la estructura ecológica principal (EPP).

Estudio de Demanda

El modelo de transporte empleado en las asignaciones de los distintos escenarios es el desarrollado por la firma Steer Davies Gleave para la Secretaría de Movilidad en 2011.

Los escenarios de transporte público asignados son:

Escenario 0= Actuaciones de transporte público en 2018 sin Metro desarrollado Escenario 1= Escenario 0 + Alternativa 1



Escenario 2= Escenario 0 + Alternativa 2

Escenario 3 = Escenario 0 + Alternativa 3

Análisis Territorial y Urbano

Este análisis describe las herramientas de planificación urbana, las UPZ atravesadas por las alternativas, los usos del suelo, el plan urbano centro ampliado, los proyectos de revitalización del centro tradicional, los planes parciales de renovación urbana y cualquier otra actuación urbana prevista en el entorno de las alternativas objeto del estudio.

Análisis Socioeconómico

Se analiza para cada alternativa la población servida y su clasificación por estrato económico.

Estudio Operacional y de la Oferta de Transporte

Se caracteriza la oferta (tren tipo, capacidad coches y composiciones, tiempos de recorrido, de ciclo, flota necesaria y oferta de plazas en hora punta) y la demanda (totales de embarques/día, perfiles y porcentajes de carga).

Costos de inversión y financiación

Se calculan los costos de obra civil, equipamientos y material rodante por un lado, y de explotación y mantenimiento por otro. En cuanto a los costos de financiación, debido a la escasa diferencia entre los presupuestos, se considera que las necesidades de financiación de las tres alternativas consideradas son equivalentes para todas ellas. Por esta razón, no se tuvo en cuenta la financiación del presupuesto en la selección de la alternativa.

Análisis Multicriterio y selección de alternativas

Se definen los ejes, objetivos e indicadores que intervendrán en el análisis multicriterio y se lleva a cabo la estimación de los indicadores.



Eje	Indicador	Objetivo	Descripción	Unidades	Signo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	I1.1.1	Garantizar la coherencia con los	Población total en el área de influencia de la PLM en el 2018	Número de habitantes/Kilómetro	+	27,760	22,953	29,379
	I1.1.2	instrumentos de	Potenciación de las centralidades 2018	Número de empleos/Kilómetro	+	29,583	26,594	27,537
	I1.1.3	planificación urbana	Potenciación de la integración regional.	Número de habitantes/Kilómetro	+	1,663	1,901	1,904
1	l1.2.1	Impactar positivamente sobre la funcionalidad y dinámica urbana	Atención a los principales equipamientos de la ciudad	Número de usuarios atendidos/Kilómetro	+	65,771	63,130	69,172
	I1.3.1	Aprovechar las oportunidades de	Renovación del tejido urbano	m² construibles/Kilóm etro	+	178,633	210,260	212,720
	I1.3.2	nuevos desarrollos	Potencial de construcción	m ² construibles/Kilómetro	+	49,500	36,360	44,557
2	I2.1.1	Mejorar las condiciones de acces ibilidad y movilidad de la demanda	Reducción del tiempo de viaje en la red de Transporte Masivo	Minutos/pasajero	+	1.59	1.6	1.58
	12.2.1	Inducir una mayor captación de los modos de transporte público	Demanda del sistema Metro	Número de pasajeros	+	69,399	67,631	70,183
	I3.1.1	1. Diseñar una red de	IPK metro	Pasajeros/veh-km	+	33.2	33.7	35
	I3.1.2	Metro de amplia cobertura y	Número medio de transbordos en la red de Transporte Masivo	Número transbortdos/viaje	-	0.363	0.3631	0.3606
3	3 2. Compatibilizar la red Metro con el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)		Estaciones de intercambio de pasajeros en el sistema de Transporte Masivo	Número de conexiones	+	4	2	4
4	I4.1.1	Mitigar los impactos ambientales derivados de la construcción y operación del sistema	Potencial magnitud de impactos derivados de implantación y operación del Metro	Adimensional	-	4,1	1,4	1,8
5	I5.1.1	Favorecer la mejora de las condiciones de accesibilidad de la población de menores recursos	Accesibilidad a los estratos de menores recursos	%	+	85.39%	85.30%	85.29%
5	I5.2.1	O Minimized to the second	Reasentamientos derivados de la implementación del Metro – Hogares	Número de personas	-	439	1	577
	I5.2.1 2. Minimizar los costos sociales ir		Reasentamientos derivados de la implementación del Metro – Unidades Económicas	Número de unidades económicas	-	10	11	11
	l6.1.1	Valorar la capacidad financiera del Distrito Capital frente a la inversión	Capacidad de financiación de la inversión	Adimensional	+	12,9	14,1	14,3
6	16.2.1	Minimizar el Valor Presente Neto de las inversiones	VPN de la inversión por kilómetro	Total de inversión (Millones COP/Km)	-	186.495	194.832	191.6
	16.3.1	3. Maximizar la eficiencia	Inversión por pasajero de la red Metro	Total de inversión (COP/pasajero)	-	22.817.735	21.421.671	20.270.322
	16.3.2	de la inversión	Costos de operación y mantenimiento por	Total de inversión (COP/pasajero)	-	656.724	590.144	567.843
		I	pasajero de la red Metro					

Tabla 20.- Ejes e indicadores considerados en el estudio y estimación de indicadores para cada alternativa

La metodología del análisis multicriterio utilizada para la selección de la alternativa es la siguiente:

- Bloque 1. Evaluación Lineal
- Bloque 2. Análisis de Robustez
- Bloque 3. Propuesta de ponderación de ejes e indicadores
- Bloque 4. Análisis de Sensibilidad
- Bloque 5. Contraste metodológico.

En el Bloque 1, la alternativa mejor valorada en la agregación por suma y por producto es la Alternativa 3, ya que presenta mejor valoración en la mayoría de los ejes (territorial y urbano, demanda, oferta y financiero).

En el Bloque 2, la alternativa mayor número de veces seleccionada, tanto en la agregación por suma como en la agregación por producto, es la Alternativa 3, en más del 84% de los escenarios de ponderación analizados.

En el Bloque 4, la alternativa seleccionada es la Alternativa 3, en el 100% de los escenarios de ponderación.

En el Bloque 5, la Alternativa 3 resulta la seleccionada en los cinco métodos empleados en este análisis.

Con base en lo anterior, la alternativa seleccionada en el tramo entre Avenida 68 y San Victorino es la Alternativa 3, ya que en los cuatro bloques analizados resulta ser la alternativa seleccionada. La alternativa que se desarrolla por tanto a nivel de diseño básico avanzado dentro del proyecto es la **Alternativa 3**.

3.7 Estudio funcional de la línea

La PLMB será una línea con una longitud en explotación de 25,19 km y 27 estaciones. En el extremo inicial de la línea, están ubicados los patios de cocheras y talleres de la línea. La conexión con la línea se realiza mediante un ramal técnico de 5,62 km de longitud. En el extremo final de la línea, después de la estación de Calle 127, se han dispuesto dos vías mango con una triple función:

- Inversión de marcha,
- Depósito de trenes para las transiciones de hora punta hora valle y al final del período de explotación
- En caso de ampliarse la línea en un futuro, la construcción de la ampliación no interferirá en la explotación normal de la línea.

A lo largo de la línea se han dispuesto bretelles en algunas de las estaciones intermedias. La misión de estos aparatos de vía es la gestión de las circulaciones en caso de incidencia en la línea. Se han dispuesto





las bretelles de forma que en las zonas de mayor carga de demanda únicamente hay una estación sin proteger, en cambio en las zonas de menor carga de demanda hay dos estaciones sin proteger.

Del estudio de demanda de referencia "Primera Línea de Metro de Bogotá. Estimación de Demanda, de enero de 2014, elaborado por Steer Davies Gleave para Consorcio L1." Se determinaron dos horizontes temporales con una carga por tramo máxima en la hipótesis de mayor demanda de:

- Año 2021: 48.000 viajeros a la hora y por sentido.
- Año 2050: 80.000 viajeros a la hora y por sentido.

Del estudio de Material Rodante, de referencia 202006-DE-PR24-DOC-04, se determinó que la capacidad máxima del tren es de 2.000 viajeros en condiciones EL6, se determinaron las características de tracción del tren, frenado y modo de conducción GoA4.

Con estos datos, junto a las características geométricas de la línea y la ubicación de las paradas programadas, se ha procedido a la realización de simulaciones de tiempos de recorrido.

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas se muestran en la siguiente tabla.

METRO BOGOTÁ LÍNEA 1: PORTAL DE LAS AMÉRICAS - CALLE 127 TIEMPOS DE EXPLOTACIÓN								
ESTACIÓN	PK	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES	TIEMPO PARADA	T1	T2	Т3	T4	
PORTAL DE LAS AMERICAS	1+041		00:00:30					
CASABLANCA	1+820	0+779	00:00:20	00:00:58	00:01:01	00:01:02	00:01:0	
VILLAVICENCIO	2+505	0+685	00:00:30	00:00:54	00:00:57	00:00:58	00:00:5	
PALENQUE	3+379	0+873	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:0	
KENNEDY	4+177	0+798	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:01	00:01:0	
BOYACÁ	5+434	1+257	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:2	
AV. 1º DE MAYO	6+247	0+813	00:00:20	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:01:0	
AVENIDA 68	7+074	0+827	00:00:40	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:01:0	
ROSARIO	8+243	1+168	00:00:20	00:01:12	00:01:16	00:01:18	00:01:	
NQS	9+618	1+375	00:00:30	00:01:22	00:01:26	00:01:29	00:01:	
SANTANDER	10+928	1+310	00:00:30	00:01:21	00:01:25	00:01:28	00:01:	
NARIÑO	11+719	0+791	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:01	00:01:	
HORTUA	12+539	0+820	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:	
SAN VICTORINO	13+835	1+296	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:	
LIMA	14+495	0+660	00:00:30	00:00:53	00:00:56	00:00:57	00:00:	
LA REBECA	15+163	0+668	00:00:30	00:00:51	00:00:54	00:00:55	00:00:	
PARQUE NACIONAL	16+525	1+363	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:	
GRAN COLOMBIA	17+435	0+909	00:00:20	00:01:02	00:01:05	00:01:07	00:01:	
MARLY	18+151	0+717	00:00:20	00:00:53	00:00:56	00:00:57	00:00:	
SANTO TOMAS	18+934	0+783	00:00:30	00:00:56	00:00:59	00:01:00	00:01:	
PLAZA LOURDES	19+652	0+718	00:00:20	00:00:55	00:00:58	00:00:59	00:00:	
AV. DE CHILE	20+749	1+096	00:00:40	00:01:09	00:01:12	00:01:15	00:01:	
CALLE 85	21+686	0+938	00:00:30	00:01:02	00:01:05	00:01:07	00:01:	
PARQUE 93	22+901	1+215	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:	
CALLE 100	23+710	0+809	00:00:30	00:00:59	00:01:02	00:01:04	00:01:	
USAQUEN	25+143	1+433	00:00:20	00:01:22	00:01:26	00:01:30	00:01:	
CALLE 127	26+230	1+087	00:00:30	00:01:08	00:01:11	00:01:14	00:01:	
Velocidad Comercial (km/h) 35.48		TIEMPO TOTAL	00:12:20	00:27:57	00:29:21	00:30:16	00:30:	

Tabla 21.- Simulaciones de tiempos de recorrido

Ambos sentidos de circulación son idénticos en cuanto a los tiempos de recorrido. A los tiempos de simulación T1 se le han añadido los márgenes de regularidad habituales en estos tipos de líneas, resultando un tiempo final T4 de 30 minutos 16 segundos de tiempos de recorrido entre estaciones.

Los tiempos de parada en las estaciones, se determinaron en función de los viajeros subidos/bajados obtenidos en el estudio de demanda, las características del tren (número de puertas por costado y sus dimensiones) y las características del tipo de viajero que lo usará (viajero habitual sin maletas). Con estos datos se determinaron los tiempos necesarios de parada. El tiempo mínimo de parada es de 20 segundos.

Del estudio de demanda, se obtuvieron las distribuciones horarias de la demanda para un día laborable, sábados y domingos y festivos.





Con la distribución de la demanda, se procedió a realizar la oferta de plazas a lo largo del día, obteniéndose una distribución de frecuencias. En la siguiente tabla se muestra la oferta de plazas para un día laborable en el año 2021.

METRO BOGOTÁ (Oferta Plazas - Día Laborable) (2021)								
	LÍNE	A1: Portal	de las Amé	ricas - Call	e 127			
Hora	Frec (seg)	№ Circ /Sent	Demanda Tramo Mas Cargado	Plazas Ofertadas	% Ocup estimada	Nº Trenes en Servicio		
5 : 00 - 6 : 00	180	20	32 648	40 000	81.62%	30		
6 : 00 - 7 : 00	150	24	43 530	48 000	90.69%	36		
7 : 00 - 8 : 00	150	24	43 530	48 000	90.69%	36		
8 : 00 - 9 : 00	180	20	26 118	40 000	65.30%	30		
9 : 00 - 10 : 00	270	13	21 765	26 667	81.62%	20		
10 : 00 - 11 : 00	270	13	21 765	26 667	81.62%	20		
11 : 00 - 12 : 00	270	13	21 765	26 667	81.62%	20		
12 : 00 - 13 : 00	180	20	32 648	40 000	81.62%	30		
13 : 00 - 14 : 00	270	13	23 942	26 667	89.78%	20		
14 : 00 - 15 : 00	270	13	23 942	26 667	89.78%	20		
15 : 00 - 16 : 00	270	13	23 942	26 667	89.78%	20		
16 : 00 - 17 : 00	180	20	30 471	40 000	76.18%	30		
17 : 00 - 18 : 00	180	20	39 177	40 000	97.94%	30		
18 : 00 - 19 : 00	180	20	30 471	40 000	76.18%	30		
19 : 00 - 20 : 00	300	12	21 765	24 000	90.69%	18		
20 : 00 - 21 : 00	300	12	21 765	24 000	90.69%	18		
21 : 00 - 22 : 00	300	12	17 412	24 000	72.55%	18		
22 : 00 - 23 : 00	450	8	8 706	16 000	54.41%	12		
TOTAL CIRC	CULACIONES	3						
	1 SENTIDO	292						
	2 SENTIDOS	584						

Tabla 22.- Oferta de plazas para un día laborable en el año 2021

En esta tabla se muestran hora a hora, la frecuencia de paso en la línea, el número de circulaciones a la hora, la demanda estimada en el tramo más cargado, la oferta de plazas que se realiza, el grado de ocupación del tren en el tramo más cargado y el número de trenes en operación en cada hora.

Con todos estos datos, se ha procedido a realizar el dimensionamiento de la flota necesaria para cada horizonte temporal. El cálculo se realiza teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

núm. de trenes necesarios para servicio = tphs.* $\frac{t_V}{60}$

- t_v es el tiempo de ciclo: suma de los tiempos de ida, vuelta e inversiones de marcha.

Con estos datos, se obtuvieron para cada horizonte temporal la flota necesaria para la línea, teniendo en cuenta la reserva de trenes necesaria en caso de avería y los trenes en mantenimiento.

DIMENSIONAMIENTO FLOTA	
Frecuencia HP	0:02:30
Tiempo de Ciclo	
Puerta Las Américas - Calle 127	0:42:36
Inversión Marcha Calle 127	0:02:30
Calle 127 - Puerta Las Américas	0:42:35
Inversión Marcha Puerta Las Américas	0:02:30
Total Ciclo	1:30:11
Nº Unidades en Servicio	36
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	4
Total Unidades	40
№ Circulaciones / Sentido (Hora Punta)	24
Oferta Plazas / Hora Punta - Sentido	48.000

DIMENSIONAMIENTO F	LOTA	
Frecuencia HP		0:01:30
Tiempo de Ciclo		
Puerta Las Américas - Calle 127		0:42:36
Inversión Marcha Calle 127		0:01:30
Calle 127 - Puerta Las Américas		0:42:35
Inversión Marcha Puerta Las Américas		0:01:30
Total Ciclo)	1:28:11
№ Unidades en Servicio		59
Reserva Operativa + Mantenimiento	10%	6
UT por pérdida de vuelta		1
Total Unio	lades	66
№ Circulaciones / Sentido (Hora Punta)	40
Oferta Plazas / Hora Punta - Sentido		80.000

Tabla 23.- Dimensionamiento de la flota de trenes

Además de los horizontes temporales 2021 y 2050, se calculó la flota necesaria en función de la evolución de la demanda, de forma que con la compra inicial de trenes se abarcasen al menos los primeros 5 años de explotación en el escenario más optimista de demanda. El resultado fue que para asegurarse en la hipótesis de demanda optimista, con la compra de 47 unidades se cubrían los primeros 5 años de explotación comercial de la línea. En el caso de darse la demanda prevista con la flota de 47 unidades se daba servicio hasta el año 2029.

También se han determinado los modos de operación de la línea, en modo normal y modo degradado. Se determinó el modo de operación al inicio del servicio, las transiciones entre las horas punta y horas valle y la gestión de la flota en esos períodos, de forma que se minimicen los recorridos en vació y por tanto minimizar los costos de explotación. El modo normal de operación será el denominado GoA4, modo de conducción automático sin conductor a bordo.





En el caso de producirse alguna incidencia en la línea, tanto a nivel del tren, instalaciones de señalización, electrificación o incidencias en la estación, se determinaron los modos de operación en modo degradado. Debido a la alta frecuencia de paso de los trenes en las horas punta, en caso de producirse alguna incidencia en la línea, el modo de operación previsto es la operación en bucles separados, es decir, se corta la línea entre las estaciones colaterales a la sección con incidencia y que dispongan de bretelles para realizar las maniobras de inversión de marcha de dichos bucles separados.

En la siguiente figura se muestra un esquema operacional en caso de incidencia en la línea.



Figura 14.- Esquema operacional en caso de incidencia en la línea

Finalmente, se ha procedido a realizar los cálculos denominados "producción ferroviaria". En las siguientes tablas se muestran para cada escenario temporal la producción ferroviaria prevista.

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2021 (FREC 00:02:30)							
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total			
Día Laborable	243	292	584	141 912			
Sábados	52	224	448	23 286			
Domingos y Festivos	70	158	316	22 120			
		187 318					
		TOTAL CIRCULACIONES / AÑO					
		1					
	Longit	ud Itinerario (km)	25.189				
		KM con \	/IAJEROS / AÑO	4 718 362			
		_					
	KM sin	VIAJEROS / AÑO		214 866			
		T	OTAL KM / AÑO	4 933 228			

PRODUCCIÓN FE	PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2026-2029 (FREC 00:02:10)					
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total		
Día Laborable	243	347	694	168 714		
Sábados	52	293	586	30 487		
Domingos y Festivos	70	193	386	27 020		
		TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				
	Longit	ud Itinerario (km)	25.189			
		KM con \	/IAJEROS / AÑO	5 698 290		
	KM sin	VIAJEROS / AÑO		264 688		
			•			
		T	OTAL KM / AÑO	5 962 979		
•						

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2050 (FREC 00:01:30)							
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total			
Día Laborable	243	455	910	221 130			
Sábados	52	375	750	39 000			
Domingos y Festivos	70	250	500	35 020			
		TOTAL CIRCULACIONES / AÑO					
Į.		TOTAL CIRCUL	ACIONES / ANO	295 150			
	Longit	ud Itinerario (km)	25.189				
Į.		KM con \	/IAJEROS / AÑO	7 434 547			
	KM sin	VIAJEROS / AÑO		395 792			
		Т	OTAL KM / AÑO	7 830 339			

Tabla 24.- Producción ferroviaria prevista en los distintos escenarios temporales

Del estudio Funcional y de Explotación se obtienen los siguientes ítems fundamentales para el desarrollo del proyecto en otras disciplinas:

- Validación del diseño geométrico de la línea con el diseño funcional y el plan de explotación previsto.
- Dimensionamiento de talleres y cocheras de la línea.
- Dimensionamiento de las instalaciones de mantenimiento del material rodante en función del kilometraje anual de la flota.
- Dimensionamiento del sistema eléctrico de tracción en función del tren tipo previsto y el número de circulaciones simultáneas en hora punta.
- Dimensionamiento de los andenes de las estaciones en función del número de viajeros subidos/bajados en la hora pico de servicio.
- Dimensionamiento de escaleras rodantes, fijas y elevadores en función del número de trenes a la hora, grado de ocupación y simultaneidad en los andenes.
- Validación del sistema de señalización previsto en función de la frecuencia en hora pico. Validación de las maniobras previstas en las cabeceras y su compatibilidad con la señalización proyectada.

3.8 Climatología e hidrología

La ciudad de Bogotá cuenta con un clima tropical, que en términos generales se puede clasificar como moderadamente frio, con una temperatura promedio de 14 °C. Así mismo, la precipitación promedio anual acumulada de Bogotá, es del orden de los 731 mm (promedio 1998–2013, fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá).





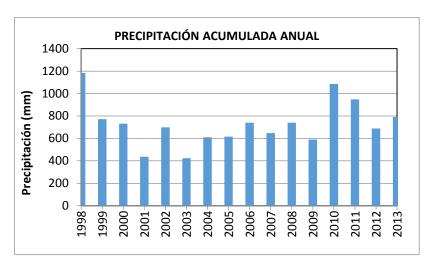


Figura 15.- Precipitación Acumulada Anual de Bogotá
Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá

En términos de precipitación mensual, el promedio es del orden de los 69 mm (promedio 2009–2014, fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá). Los meses de mayor precipitación por lo general corresponden al periodo invernal comprendido entre Octubre – Noviembre y el periodo seco entre Enero – Febrero.

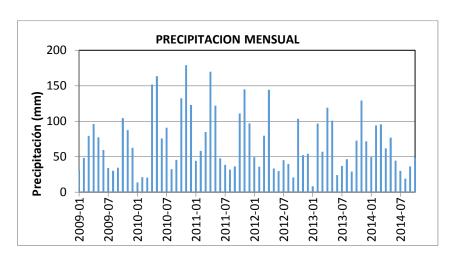


Figura 16.- Precipitación Acumulada mensual de Bogotá Fuente Datos: Observatorio Ambiental de Bogotá

Para definir la precipitación y obtener los parámetros hidrológicos de diseño, para las estructuras de evacuación de los caudales pluviales en el área del proyecto PLMB, la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP (EAAB-ESP), cuenta con una caracterización espacial de las curvas de Intensidad—Duración Frecuencia (I-D-F), la cual fue suministrada para cada uno de los puntos donde se

localizarán las estaciones (27 puntos), así como los talleres y cocheras del proyecto (E0). La localización general se presenta en la siguiente figura.



Figura 17.- Localización Puntos de información curvas I-D-F

Con la información antes mencionada, se definieron la totalidad de curvas y se diseñaron los componentes del sistema de drenaje del proyecto.

Adicionalmente, se identificaron las posibles afectaciones que se pueden generar en el sistema, ocasionadas por fenómenos de inundación, principalmente en las estaciones y en los patios de talleres y cocheras, especialmente en la parte inicial del trazado de la PLMB, sector sur occidental de la ciudad donde se encuentra el río Bogotá.

La EAAB-ESP en 2011, mediante la implementación de un modelo hidrodinámico (HEC RAS), en contraste con la información topográfica tipo LIDAR (2007), estimó los posibles polígonos y cota máxima de inundación que se generarían ante la eventualidad de un rompimiento del dique de protección actual, con la determinación de los volúmenes aproximados de inundación.





La siguiente figura presenta el polígono que fue generado por la EAAB-ESP, donde se determinan y limitan los volúmenes aproximados de inundación. Adicionalmente, se subraya la zona donde se localiza la posible afectación con el proyecto de la PLMB.

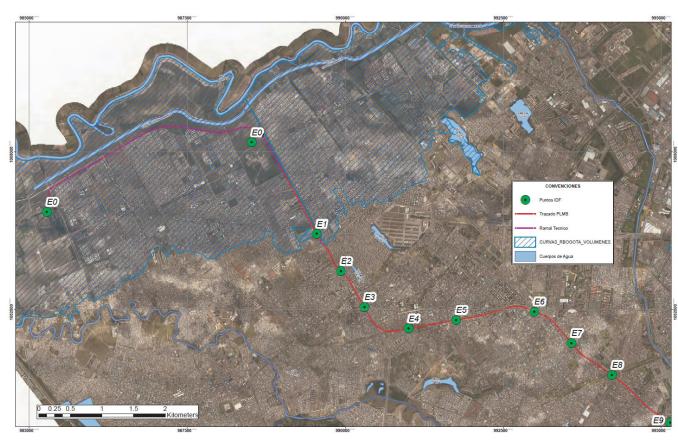


Figura 18.- Volúmenes aproximados de inundación Río Bogotá Fuente: Datos EAAB-ESP (2011)

De acuerdo con la figura anterior, el polígono de inundación se encuentra asociado a la estación E1 (Portal de las Américas), el trazado del ramal técnico y el predio de los talleres y cocheras, con una cota de inundación estimada de 2.542.6 msnm.

Se espera que en condiciones normales no se presente rompimiento en el dique de protección, sin embargo, la cota y los polígonos sirven de referencia para determinar la cota de los elementos urbanísticos que permitirán la protección de los diversos elementos de la PLMB, en caso de presentarse una condición más desfavorable.

3.9 Geometría y trazado

3.9.1 Parámetros de diseño del trazado

Para el encaje del trazado de cada uno de los cuatro tramos que conforman la Primera Línea de Metro de Bogotá, se toma de base la normativa europea EN-13803-1 y se comparan los resultados con:

- Parámetros del estudio conceptual.
- Parámetros contenidos en el Producto 27.
- Parámetros propuestos en los Términos de Referencia del contrato.

Una vez comparados, se han adoptado en el Proyecto los siguientes valores:

Parán	netro en planta	Valor
Ancho de vía		1.435 mm
Radio mínimo en	Normal	320 m
planta	Evennienal	260 m en eje de entrevía
pianta	Excepcional	250 m en eje de vía
Radio mínimo en estación		Recta
Longitud mínima	Entre curvas	20 m
de alineación	En estaciones	Normal 180 m
recta	En estaciones	Excepcional 150 m
Longitud mínima	de desarrollo de la curva	20 m
Longitud mínima	de desarrollo de la clotoide	EN 13830-1* ¹
Longitud mínima de desarrollo de la clotoide		Mínimo: 20 m
Longitud mínima de andén en estación		150 m
Pei	alte máximo	140 mm

Tabla 25.- Parámetros geométricos de trazado en planta

Parámetro en alzado	Valor
Pendiente longitudinal máxima en línea	40 °/ ₀₀
Pendiente longitudinal mínima en línea	2,50 °/ ₀₀
Pendiente longitudinal en estaciones	0 °/ ₀₀
Acuerdo mínimo $(R_v = q_R^*V^2)$	2.500 m
Longitud mínima de acuerdo vertical	20 m
Longitud mínima rasante uniforme entre acuerdos	20 m

Tabla 26.- Parámetros geométricos de trazado en alzado

Parámetro funcional de diseño (Confort)	Valor
Velocidad Máxima	90 km/h
Velocidad comercial de la línea	≥ 30 km/h Objetivo 35 km/h
Máxima insuficiencia de peralte IMáx (mm)	100 mm





Parámetro funcional d	le diseño (Confort)	Valor
Aceleración no compensada a_{sc} Máx (m/s²)	$asc = \frac{g}{e}I$	0.65 m/s ²
Máxima variación del peralte con el t	50 mm/s	
Máxima variación ángulo giro o	0.03 rad/s	
Máxima variación de la insuficiencia	50 mm/s	
Máxima variación aceleración no compensada con el tiempo (m/s³)	0.40 m/s ³	
Variación de peralte máximo [dD/dl]	2 mm/m	
Máxima aceleración vertical a _{v Máx} (m	n/s²)	0,20 m/s ²

Tabla 27.- Parámetros funcionales de diseño (Confort)

A continuación se incluye una tabla resumen con los valores máximos y mínimos de las alineaciones circulares y pendientes utilizados en cada uno de los cuatro tramos:

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	
Trazado en planta				1	
Radio máx. (m)	2.500	1.750	5.700	20.000	
Radio mín. (m)	270	265 260		252	
Trazado en alzado					
Pendiente máx. (‰)	30,0	24,0	30,0	17,1	
Pendiente mín. (‰)	0	0	0	0	

Tabla 28.- Valores máximos y mínimos de las alineaciones circulares y pendientes

3.9.2 Descripción del trazado

- Ramal Técnico

El trazado del Ramal Técnico presenta una longitud de 4.577,112 metros. El trazado se inicia en los talleres y cocheras previstos para la PLMB en el predio de Bosa 37 y finaliza al inicio del tramo 1 de la Línea de Metro. En el diseño se han tenido en cuenta los condicionantes urbanísticos, hidráulicos, geométricos y geotécnicos principalmente.

Para el diseño del trazado en planta se ha considerado como referencia fundamental la construcción de la ALO, Autopista Longitudinal de Occidente. También existen otra serie de puntos significativos como pasos sobre canales, futuras estaciones a construir y el paso sobre el predio de Gibraltar.

Para el diseño en alzado la referencia fundamental a considerar es la cota de inundación de la zona que se establece a la cota 2.542,60 m

- Tramo 1

El trazado del Tramo 1, comprende desde la zona de Gibraltar hasta la Estación 1º de Mayo, cuenta con una longitud total 6.667,442 m y un total de 7 estaciones: Portal de las Américas, Casablanca, Villavicencio, Palenque, Kennedy, Boyacá y 1º de Mayo.

Se desarrolla por la Avenida de Ciudad de Villavicencio y la Avenida 1º de Mayo.

- <u>Tramo 2</u>

El trazado del Tramo 2, comprende desde la Estación Avenida 68 hasta la Estación de San Victorino, cuenta con una longitud total 7.329,293 m y un total de 7 estaciones: Avenida 68, Rosario, NQS, Santander, Nariño, Hortúa y San Victorino.

Se desarrolla por la Avenida 1º de Mayo, Avenida de Fucha, Avenida de Hortúa, Avenida Caracas, Parque del Tercer Milenio y la Carrera 10.

Tramo 3

El trazado del Tramo 3, comprende desde la Estación de Lima hasta la Estación Plaza de Lourdes, cuenta con una longitud total 6.166,138 m y un total de 7 estaciones: Lima, La Rebeca, Parque Nacional, Gran Colombia, Marly, Santo Tomás y Plaza de Lourdes.

Se desarrolla por la Carrera 10, Carrera 13 y la Carrera 11.

Tramo 4



El trazado del Tramo 4, comprende desde la Estación Avenida Chile hasta la Estación Calle 127 y final de trazado, cuenta con una longitud total 6.900,020 m y un total de 6 estaciones: Avenida Chile, Calle 85, Parque 93, Calle 100, Usaquén y Calle 127.

Se desarrolla por la Carrera 11, Carrera 9 y la Calle 127.

3.9.3 Condicionantes y puntos singulares del trazado

Se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes y puntos singulares:

- Ramal técnico

- Salida del taller en el predio de Bosa 37. P.K. 0+000
- Cruce con el canal Tintal IV en el P.K. 0+207
- Cruce con la reserva vial 30.12, Avenida de San Bernardino en el P.K. 0+245
- -. Cruce con el Canal de Santa Isabel en el P.K. 0+890
- Posible estación en el P.K. 1+040
- Cruce con la reserva vial 42.48, Avenida de Bosa en el P.K. 1+210
- Cruce con el canal del Tintal II en el P.K. 1+550
- Cruce con la reserva vial 41.21, glorieta Avenida Primero de Mayo en el P.K. 2+510
- Posible estación en el P.K. 2+840
- Cruce con la calle 49S en el P.K. 2+282
- Cruce con el camino y ciclorruta situado en el P.K. 3+984
- Final del trazado conectando con el tramo I de la PLMB

- Tramo 1

- Origen del trazado. Zona de instalaciones de obra, P.K. 0+000
- Canal Tintal II, P.K. 1+200
- Estación de servicio Runcar (Biomax), P.K. 2+960
- Hospital Occidente de Kennedy, P.K. 4+007
- Pasarela Peatonal, P.K. 4+447
- Salida de emergencia, P.K. 4+810
- Pasarela Peatonal, P.K. 5+560
- Viaducto de la Avenida 1º de Mayo sobre la Avenida Boyacá, P.K. 5+630
- Pasarela Peatonal, P.K. 5+874

Tramo 2

- Pasarela Peatonal, P.K. 0+150
- Viaducto de la Avenida 1º de Mayo sobre la Avenida 68, P.K. 0+400
- Pasarela Peatonal, P.K. 0+719
- Salida de emergencia, P.K. 0+950
- Pasarela Peatonal, P.K. 1+348
- Canal Río Seco, P.K. 1+390
- Canal Río Albina y Pasarela Peatonal, P.K. 2+090
- Salida de Emergencia, P.K. 2+265
- Estación de Transmilenio Sena en Avenida Ciudad de Quito, P.K. 2+900
- Canal Río Fucha, P.K. 3+085
- Pasarela Peatonal, P.K. 3+115
- Salida de Emergencia, P.K. 3+745
- Paso de la Avenida de Hortúa a la Avenida Caracas, P.K. 5+400
- Subestación eléctrica de alta tensión, P.K. 5+470
- Estación de Transmilenio Hospital en la Avenida Caracas, P.K. 5+940
- Paso de la Avenida Caracas al Parque del Tercer Milenio, P.K. 6+280
- Salida de emergencia y pozo de entrada de la tuneladora, P.K. 6+495
- Aparcamiento del Tercer Milenio, P.K. 6+590
- Estación de Transmilenio Carrera 10, P.K. 7+100

Tramo 3

- Estación Transmilenio Las Nieves, P.K. 0+500
- Estación de Transmilenio San Diego y paso inferior peatonal en La Rebeca, P.K. 1+200–1+340
- Puente de la Carrera 10 sobre la Calle 26 entre el P.K. 1+380 1+420
- Paso inferior peatonal en La Rebeca, P.K. 1+475
- Estación subterránea de Transmilenio Museo Nacional, P.K. 1+690-1+880
- Salida de Emergencia, P.K. 1+954
- Zona de elevadas edificaciones, P.K. 2+230
- Canal Río Arzobispo, P.K. 3+140
- Plaza de Lourdes, P.K. 5+600
- Salida de Emergencia, P.K. 6+054





- Tramo 4

- Salida de emergencia, P.K. 1+090
- Salida de emergencia, P.K. 2+140
- Canal Río Negro, P.K. 2+295
- Salida de Emergencia, P.K. 4+250
- Viaducto de la Carrera 11 sobre la Carrera 9 (Avenida Laureano Gómez), P.K. 4+500
- Canal Río Molinos, P.K. 4+680
- Pasarela Peatonal, P.K. 4+713
- Estación ferroviaria de Usaquén, P.K. 4+900
- Ferrocarril La Sabana-Zipaquirá, P.K. 5+200
- Viaducto Calle 116 sobre la Carrera 9, P.K. 5+420
- Salida de Emergencia, P.K. 5+448
- Pasarela Peatonal, P.K. 6+013
- Puente de la Calle 127, ramal a la Carrera 11, P.K. 6+415
- Puente de la Calle 127, Calzada sur, P.K. 6+500
- Canal Río Callejas, P.K. 6+510
- Puente de la Calle 127, calzada norte, P.K. 6+550
- Pasarela Peatonal, P.K. 6+724
- Salida de emergencia, P.K. 6+790

3.9.4 Afección al ferrocarril actual

La línea de ferrocarril actual se ve afectada por las obras del Metro, a su paso por la Carrera 9, entre el nuevo puente de la Carrera 11 y la Calle 127, es decir, en una longitud de 2.211,171 m.

También se ven afectadas las dos vías férreas de apartado que se sitúan en la Estación de Usaquén.

Estas tres vías ferroviarias quedan totalmente repuestas al final de los trabajos del Metro en su posición original de antes de las obras.

Para el mantenimiento del tráfico ferroviario durante las obras se diseña una vía ferroviaria provisional de 1.936,260 m y a la derecha de ésta vía provisional se diseña una calzada provisional de dos carriles para

el desvío del tráfico rodado. Por lo tanto durante la ejecución de las obras, a lo largo de este tramo de la Carrera 9 se incluirá una vía férrea provisional y una vía para tráfico rodado de dos carriles en sentido surnorte.

El tráfico viario en sentido norte -sur se desviará por la Carrera 11.

3.10 Movimiento de tierras

Se han determinado los movimientos de tierras que resultan como consecuencia de las obras previstas en los tramos objeto del proyecto, y la posible compensación de los volúmenes correspondientes. Los tramos objeto de análisis, son los cuatro tramos de la Primera Línea del Metro de Bogotá, el Ramal Técnico y los talleres y cocheras en Bosa.

3.10.1 Movimiento de tierras de la obra lineal

- Todas las tierras que se generan por la excavación del túnel tanto si es con tuneladora como si se ejecuta por pantallas, se destinarán a vertedero.
- Todas las tierras necesarias para el relleno entre la losa superior del túnel entre pantallas y las calles, procederá de cantera.
- Según lo previsto en el Estudio de Materiales indicado en el Producto 02-03.
- Las excavaciones del Tramo 1, Tramo 2 y Ramal Técnico se destinarán al botadero de Vista Hermosa.
 - Las excavaciones del Tramo 3 se destinarán al botadero de La Fiscalía y las excavaciones del Tramo 4 se destinarán al botadero de Tunjuelo.
- Los rellenos procederán de la cantera de Cueva del Zorro para las tierras necesarias en el Tramo 1, Tramo 2 y Ramal Técnico.
- La cantera El Cedro suministrará material a los Tramos 3 y 4.

3.10.2 Movimiento de tierras de estaciones

Como se ha indicado, las tierras procedentes de la excavación de las estaciones del Tramo 1 y
del Tramo 2, así como las primeras estaciones del Tramo 3, irán para el relleno de patios y
cocheras hasta que se complete el terraplén necesario. El resto de tierras sobrantes del Tramo 3,
se destinarán al botadero de La Fiscalía.



- Las excavaciones de las estaciones del tramo 4, se destinarán al botadero de Tunjuelo.
- Los rellenos entre losa superior de estación y la vía rodada, procederán de cantera.
 Para el Tramo 1 y para el Tramo 2, las tierras se traerán de la cantera de Cueva del Zorro.
 - Para el Tramo 3 y para el Tramo 4, las tierras se traerán de la cantera El Cedro.

3.10.3 Movimiento de tierras de talleres y cocheras

- Para el cálculo de las tierras en los talleres y cocheras de Bosa se ha considerado una superficie de ocupación de 324.560 m², es decir 32,5 hectáreas.
- Todo el material necesario para el relleno de los patios y cocheras procederá de la excavación de las estaciones del Tramo 1, Tramo 2 y Tramo 3, siendo el único material que se considera aprovechable.
- El destino de las excavaciones en Bosa será el botadero de Vista Hermosa.
- Primeramente, se excavan los rellenos antrópicos que se han depositado sobre el terreno natural con un volumen total de 178.966 m³.
- A continuación, se excava la tierra vegetal con un volumen de 162.280 m³.
- El hueco dejado se rellena con material drenante.
- Posteriormente se realiza un relleno hasta la cota de vía, es decir, desde la cota 2.539,5 hasta la cota 2.543,5 con un volumen necesario de 1.272.187 m³.
- Después se han de considerar 3 metros más de altura de terraplén para la ejecución de la precarga, con un volumen necesario de 934.600 m³.
- Superado el proceso de consolidación, se destinarán las tierras sobrantes, considerando una altura de rebaje de 1,8 m, volviendo a la cota 2.543,5 m.
 Se retira un volumen estimado de 581.328 m³.

3.10.4 Tablas resúmenes del movimiento de tierras

A continuación, se incluyen unas tablas resúmenes con las excavaciones y rellenos necesarios por tramos de la obra lineal, el taller y cocheras y de las estaciones.

En ellos se indica el destino y la procedencia de las tierras y la distancia al lugar final de uso o acopio.





MOVIMIENTO DE TIERRAS DE LA OBRA LINEAL

		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	RAMAL TÉCNICO	TOTAL
TU	NELADORA						
		0+936,868 AL 6+667,442	0+000,000 AL 7+329,293	0+000,000 AL 3+233,044			
	LONGITUD EN METROS	5731	7329	3233			16.293
DENOMINACIÓN DE LAS MEDICIONES	DENOMINACIÓN EN LOS LISTADOS						
m3 EXCAVACIÓN TOTAL DEL TÚNEL	EXC TOT TUNEL	395.610	523.180	221.051			1.139.841
DESTINO DE LA EXCAVACIÓN ES VERTEDERO		VISTA HERMOSA	VISTA HERMOSA	LA FISCALIA			
DISTANCIA AL VERTEDERO KM		14,000	21,000	12,000			
P.	ANTALLAS						
		0+000,000 AL 0+936,868		3+233,044 AL 6+166,138	0+000,000 AL 6+902,400	4+400,000 AL 4+577,112	
	LONGITUD EN METROS	937		2933	6902	177	10.949
DENOMINACIÓN DE LAS MEDICIONES	DENOMINACIÓN EN LOS LISTADOS						
m3 EXCAVACIÓN TOTAL ENTRE PANTALLAS	D TIERRA	187.450		412.361	1.388.211	5.959	1.993.981
DESTINO DE LA EXCAVACIÓN ES VERTEDERO		VISTA HERMOSA		LA FISCALIA	TUNJUELO	VISTA HERMOSA	
DISTANCIA AL VERTEDERO KM		14,000		12,000	17,500	14,000	
m3 RELLENO SUPERIOR DE TIERRAS	RELLENO CALLE	19.764		41.994	138.627		200.385
PROCEDENCIA DEL RELLENO ES CANTERA		CUEVA DEL ZORRO		EL CEDRO	EL CEDRO		
DISTANCIA A LA CANTERA KM		8,500		12,500	7,000		
							T
	TIERRAS						
						0+000,000 AL 0+185,000	
						185,000	
DENOMINACIÓN DE LAS MEDICIONES							
m3 TERRAPLÉN DEL RAMAL TÉCNICO						3.776	3.776

Tabla 29.- Resumen del movimiento de tierras de la obra lineal

PROCEDENCIA DEL RELLENO ES CANTERA

DISTANCIA A LA CANTERA KM



CUEVA DEL ZORRO

12,400



MOVIMIENTO DE TIERRAS DE LAS ESTACIONES

	Estación	Tipo de estación	EXCAVACIÓN (m3)	DESTINO	DISTANCIA KM	RELLENOS (m3)	PROCEDENCIA	DISTANCIA KM
1	P. de Las Américas	Tipo 1 túnel	232.202,700	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
2	Casablanca	Tipo 1 túnel	125.830,540	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
3	Villavicencio	Tipo 1 túnel	122.626,040	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
4	Palenque	Tipo 1 túnel	119.985,090	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
5	Kennedy	Tipo 1 túnel	128.000,790	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
6	Boyacá	Tipo 1 túnel	170.671,450	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
7	1° de Mayo	Tipo 1 túnel	126.736,980	TALLERES Y COCHERAS	8,50	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	8,50
		TOTAL TRAMO 1	1.026.053,590			65.638,126		
8	Avenida 68	Tipo 1 túnel ESP	225.148,090	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	12,50
9	Rosario	Tipo 1 túnel	134.797,170	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	12,50
10	NQS	Tipo 1 túnel	157.238,410	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.376,875	CUEVA DEL ZORRO	12,50
11	Santander	Tipo 2 túnel	148.579,920	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.694,582	CUEVA DEL ZORRO	12,50
12	Nariño	Tipo 2 túnel	152.329,950	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.694,582	CUEVA DEL ZORRO	12,50
13	Hortúa	Tipo 2 túnel	135.956,540	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.694,582	CUEVA DEL ZORRO	12,50
14	San Victorino	Tipo 2 túnel	149.031,600	TALLERES Y COCHERAS	18,00	9.694,582	CUEVA DEL ZORRO	12,50
		TOTAL TRAMO 2	1.103.081,680			66.908,955		
15	Lima	Tipo 2 túnel	121.784,380	TALLERES Y COCHERAS	23,00	9.694,582	EL CEDRO	12,50
16	La Rebeca	Tipo 2 túnel ESP	226.195,090	LA FISCALIA	12,00	9.694,582	EL CEDRO	12,50
17	Parque Nacional	Tipo 2 túnel	220.614,740	LA FISCALIA	12,00	9.694,582	EL CEDRO	12,50
18	Gran Colombia	Tipo 3 pantallas	177.114,280	LA FISCALIA	12,00	12.454,934	EL CEDRO	12,50
19	Marly	Tipo 3 pantallas	178.074,810	LA FISCALIA	12,00	12.454,934	EL CEDRO	12,50
20	Santo Tomás	Tipo 2 pantalla	115.233,160	LA FISCALIA	12,00	10.430,944	EL CEDRO	12,50
21	Plaza Lourdes	Tipo 1 pantalla	110.968,510	LA FISCALIA	12,00	9.325,568	EL CEDRO	12,50
		TOTAL TRAMO 3	1.149.984,970			73.750,128		
22	Avenida Chile	Tipo 2 pantalla	129.923,690	TUNJUELO	17,50	10.430,944	EL CEDRO	7,00
23	Calle 85	Tipo 2 pantalla	132.068,770	TUNJUELO	17,50	10.430,944	EL CEDRO	7,00
24	Parque 93	Tipo 2 pantalla	128.569,270	TUNJUELO	17,50	10.430,944	EL CEDRO	7,00
25	Calle 100	Tipo 2 pantalla	126.562,550	TUNJUELO	17,50	10.430,944	EL CEDRO	7,00
26	Usaquén	Tipo 1 pantalla	120.769,030	TUNJUELO	17,50	9.325,568	EL CEDRO	7,00
27	Calle 127	Tipo 2 pantalla ESP	398.016,340	TUNJUELO	17,50	10.430,944	EL CEDRO	7,00
		TOTAL TRAMO 4	1.035.909,650			61.480,288		

Tabla 30.- Resumen del movimiento de tierras de las estaciones





				DISTANCIA (KM)
m3	TERRAPLÉN 2539,5 A 2543,5 EN BOSA	1.272.187, PROCEDENCIA	ESTACIONES TRAMO 1,2,Y 3	
m3	TERRAPLÉN 2543,5 A 2546,5 EN BOSA	934.600 PROCEDENCIA	ESTACIONES TRAMO 1,2,Y 3	
m3	DESMONTE PARA ENRASAR A 2543,5 EN BOSA	560.760 DESTINO	VISTA HERMOSA	18,000
m3	DESMONTE DE LOS RELLENOS EXISTENTES EN BOSA	178.966 DESTINO	VISTA HERMOSA	18,000
m3	EXCAVACIÓN DE TIERRA VEGETAL EN BOSA	162.280 DESTINO	VISTA HERMOSA	18,000
m3	MATERIAL DRENANTE EN BOSA	162.280 PROCEDENCIA	CUEVA DEL ZORRO	12,000

Tabla 31.- Resumen del movimiento de tierras de los talleres y cocheras

TOTAL MOVIMIENTO DE TIERRAS

		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	RAMAL TÉCNICO	PATIOS Y TALLERES	TOTAL
	TUNELADORA							
m3	EXCAVACIÓN CON TUNELADORA	395.610	523.181	221.051				1.139.842
	PANTALLAS Y ESTACIONES							
m3	EXCAVACIÓN EN LINEA	187.450		412.361	1.388.211	5.959		1.993.981
m3	EXCAVACIÓN EN ESTACIONES	1.026.054	1.103.082	1.149.985	1.035.910			4.315.030
m3	RELLENO DE TIERRAS EN LINEA	19.764		41.994	138.627	3.776		204.161
m3	RELLENO EN ESTACIONES	65.638	66.909	73.750	61.480			267.777
	PATIOS Y TALLERES							
m3	EXCAVACIÓN EN PATIOS Y TALLERES						739.726	739.726
m3	EXCAVACIÓN EN TIERRA VEGETAL						162.280	162.280
m3	RELLENO EN PATIOS Y TALLERES						2.206.787	2.206.787
m3	RELLENO CON MATERIAL DRENANTE						162.280	162.280

	VOLÚMENES TOTALES		
m3	VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL EXCAVADO	8.350.859	
m3	VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL A VERTEDERO	7.668.535	(*)
m3	VOLUMEN TOTAL DE RELLENO DEL TRAZADO	2.206.787	(**)
m3	VOLUMEN TOTAL DE RELLENO DE PRÉSTAMO	634.218	
	4. 1.1		•

^(*) Se ha considerado un factor de expansión del material excavado a vertedero de (1,30)

Tabla 32.- Resumen del movimiento de tierras total



^(*) Se ha considerado un factor de paso del material excavado a relleno de (0,90)

3.11 Superestructura

La superestructura de vía representa una interfaz entre la Infraestructura y el Material Móvil y condiciona, en gran parte, la calidad de rodamiento y el mantenimiento del sistema.

La elección de un sistema de vía u otro así como su ejecución son claves para la vida del Metro y los costos de mantenimiento y explotación.

3.11.1 Tendido de vía en túnel

Se elige el apoyo de la vía en losa de concreto (vía en placa) en vez de la vía sobre balasto, al considerarse que es el óptimo en túneles urbanos ya que los trabajos de conservación y mantenimiento se reducen, economizan y se simplifican claramente y de una forma importante.

El tendido de vía seleccionado para el tramo en túnel de la PLMB es el de bloques embebidos que consiste en bloques de concreto recubiertos de elastómero, que se encuentran incrustados en el concreto de la placa principal. Cada hilo es soportado por un bloque de concreto independiente introducido en una cazoleta y embebido en un elastómero. Éste hace de eslabón elástico entre el bloque y la cazoleta, actuando a la vez de sistema antivibratorio. Los bloques elásticos se hormigonan posteriormente al realizar la placa, sumergiendo las cazoletas. Para realizar la sujeción del riel al bloque se puede emplear el sistema que se dese (Pandrol, Nabla, etc.)

Los esfuerzos dinámicos de elasticidad y amortiguación son absorbidos por el elastómero. El elastómero puede ser adherido en fábrica o in situ mediante el vertido de un material elastomérico.

Los bloques de fijación de vía se componen de 3 elementos principales (además de los elementos auxiliares y las fijaciones):

- Taco: Elemento de concreto armado sobre el que se apoya el riel con una almohadilla intermedia. El diseño de la superficie superior se ejecuta de acuerdo al modelo de fijación, anclaje y riel que vaya a soportar.
- Bandeja: Elemento de concreto armado que queda embebido en el concreto de la losa de soporte de la vía. Sobre ella se coloca el TACO unidos por la mezcla elastomérica.

Mezcla Elastomérica: Elemento activo del sistema, formado por un elastómero complejo mezclado con corcho molido, que se vierte en estado líquido en el proceso de fabricación del bloque y que al polimerizar se endurece y adhiere fuertemente ambas partes (TACO Y BANDEJA) de concreto, permitiendo una unión elástica controlada.

Así una vez el bloque queda hormigonado en la losa de la vía a través de la BANDEJA, proporciona al riel un asiento elástico, firme y estanco.

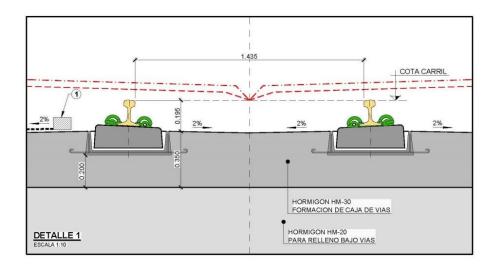


Figura 19.- Tendido de vía Bloques Embebidos

Características del Tendido

- Vibraciones

Para permitir el ajuste elástico de la vía, de forma que se cumpla con los requisitos de funcionamiento tales como la comodidad del pasajero y el ruido estructural irradiado, es posible definir la rigidez estática del Sistema de Bloques Embebidos. Así, existen dos tipos de este sistema con distintos niveles de atenuación:

- Sistema con atenuación de más de 5 dBv. Considerando 17,83 tn de carga por eje, se obtiene la siguiente caracterización de la atenuación vibratoria:
- Deflexión del riel < 1 mm
- Frecuencia propia (Hz): 31,5





- Frecuencia de corte (Hz): 50
- Atenuación (dB) a la frecuencia de 63 Hz: 6,6
- Atenuación (dB) en el rango de frecuencias de 40 a 80 Hz: 1,47
- Sistema con atenuación de 10-20 dBv, que se consigue con la disposición de suelas elásticas bajo los bloques. Considerando 17,83 tn de carga por eje, se obtiene la siguiente caracterización de la atenuación vibratoria:
- Deflexión del riel:1 2 mm
- Frecuencia propia (Hz): 20
- Frecuencia de corte (Hz): 30
- Atenuación (dB) a la frecuencia de 63 Hz: 18,6
- Atenuación (dB) en el rango de frecuencias de 40 a 80 Hz: 16,15

Para obtener niveles superiores antivibratorios se necesitaría materializar una solución de losa flotante con manta elastomérica entre las losas de concreto y considerar el sistema de riel embebido correspondiente a la atenuación de 10-20 dB, consiguiendo una atenuación superior a 20 dBv.

En base a un estudio de ruidos se determina los puntos del trazado donde se requieren los distintos niveles de atenuación del túnel.

Mantenimiento

Mediante la utilización de sistemas de sujeción ajustables tanto lateral como verticalmente, los pequeños ajustes y correcciones de la posición del riel son fácilmente realizables con el Sistema de Bloques Embebidos. Las correcciones mayores, por ejemplo, errores topográficos o de asentamiento de la losa de concreto, o la sustitución de bloques se lleva a cabo fácilmente extrayendo el taco de su correspondiente bandeja.

Después de limpiar convenientemente la superficie de apoyo se puede volver a embeber el taco.

3.11.2 Tendido de vía en viaducto

La estructura en viaducto está afectada por unas condiciones de deformaciones y estabilidad que difieren mucho de las que se dan en el túnel.

La tendencia moderna tiende a descartar la vía en placa en el viaducto debido a la excesiva sobrecarga que supone la losa de hormigón y a la difícil compatibilidad de deformaciones térmicas y reológicas de la propia vía en placa con la estructura del viaducto.

El tendido de vía seleccionado para el tramo en viaducto es el de placas de fijación directa sobre plinto.

El Sistema de Fijación Directa es un sistema de sujeción para vías en placa, donde el riel apoya sobre la placa principal sin la interposición de traviesas o bloques, realizándolo de manera directa. Se intercala entre riel y concreto una placa base de acero. Esta placa intermedia está recubierta por material elástico que junto con los tornillos de anclaje roscados en vainas hormigonadas situados en los laterales permiten el ajuste y la nivelación del riel una vez instalado.

El Sistema de Fijación Directa se compone de los siguientes elementos:

- Clips elástico
- Topes aislantes o placas guías (para aislar el riel eléctricamente de la losa de concreto y fijar correctamente el rial a la sujeción)
- Placa de asiento
- Placa Base
- Dos o cuatro pernos de anclajes sobre losa de concreto
- Dos o cuatro vainas de sujeción para vía hormigonada.



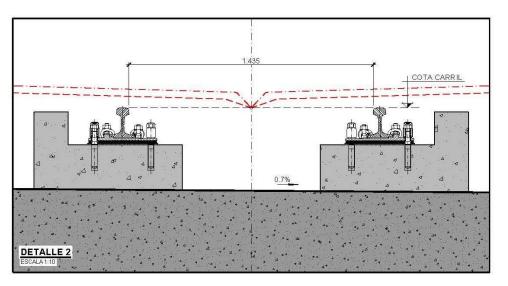


Figura 20.- Tendido de vía de placas fijación directa sobre plinto

Características del Tendido

Vibraciones

Se proponen dos tipos de tendidos de vía con fijación directa atendiendo a la atenuación necesaria:

- Sistema para los tramos en que los requisitos de mitigación de vibraciones no excedan de 10 dB.
- Sistema para los tramos en que existe una demanda para la mitigación de vibraciones igual a 20 dB.

La diferencia entre ambos consiste básicamente en la interposición, en el sistema de mayor atenuación, de las placas elásticas y de distribución de cargas, entre la placa de asiento y la placa Base. Se modifican también las geometrías de la placa Base y de los topes elásticos (placas guía).

En base a un estudio de ruidos se determina los puntos del trazado donde se requieren los distintos niveles de atenuación del tramo en viaducto.

Mantenimiento

Los sistemas de fijación directa presentan necesidades continuas de mantenimiento preventivo y correctivo de sus elementos (frecuencias similares a la vía con balasto) así como la imposibilidad de correcciones geométricas, en el caso de superarse las tolerancias de alineación y nivelación de la vía que permite el sistema, sin destrucción y reconstrucción de la vía.

3.11.3 Tendido de vía en Talleres y Cocheras

La zona de talleres es un área que alberga una gran cantidad de metros de vía en la que el terreno también está afectado por unas condiciones de deformaciones y estabilidad que obligan a utilizar un tendido de vía menos rígido. Es por ello que el tendido seleccionado es el de vía en balasto.

La vía en balasto está formada por 4 elementos fundamentales:

- Balasto: Es el elemento principal de este tipo de tendido de vía. Es la capa de piedra partida que se coloca sobre la plataforma envolviendo a las traviesas en cinco de sus seis caras. De esta forma el balasto transmite y reparte las cargas para no superar las tensiones admisibles de las capas inferiores, empotra a las traviesas para evitar el movimiento longitudinal debido a la dilatación, la aceleración y el frenado del tren y el movimiento transversal debido al movimiento de lazo y a la fuerza centrífuga, proporciona la elasticidad necesaria a la vía, haciendo más cómoda la rodadura y reduciendo los impactos debidos a los efecto dinámicos, permiten afinar la rasante de la vía actuando sobre él, facilita el drenaje y permite la evaporación del agua de la plataforma. Además el balasto permite, mediante máquinas bateadoras, recuperar las características geométricas de la vía y amortigua el ruido y las vibraciones provocado por el paso de las unidades de material rodante.
- Sub-balasto: Su finalidad es proteger la parte superior de la plataforma (capa de forma) de la erosión generada por el propio balasto y el hielo, además naturalmente de repartir las cargas verticales.
- Traviesas. Las traviesas tienen como función fundamental el repartir las cargas verticales sobre el lecho de balasto, y el mantener la estabilidad transversal y longitudinal de la vía frente a los esfuerzos dinámicos de los vehículos y los efectos térmicos de los carriles.
- Sujeción: Las sujeciones tienen como misión principal sujetar el patín del carril a la traviesa, de tal manera que la resistencia al deslizamiento del carril sobre las traviesas sea muy superior a la resistencia al desplazamiento de éstas respecto al balasto, estando la banqueta totalmente estabilizada. Además, la sujeción ha de poder garantizar el par de apriete o la fuerza con que queda sujeto el carril bajo procesos dinámicos sometidos a importantes vibraciones. En este





sentido, se exige que la frecuencia propia de vibración de la sujeción sea claramente superior a la del carril, para que así no se produzca una pérdida de contacto entre ambos.

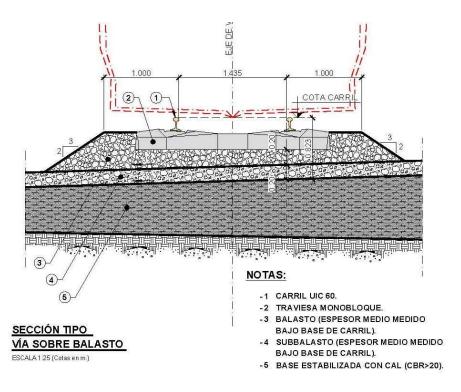


Figura 21.- Tendido de vía en balasto

Dentro de la zona de talleres y cocheras se ha previsto de soluciones puntuales de tendido de vía que se adaptan mejor a las condiciones:

- Vía en placa, en las cocheras de estacionamiento y el tramo final de la vía de pruebas
- Vía embebida en concreto, dentro de los talleres e integrada en la losa que forma la solera, además de los cruces de la vía con los viales vehiculares.
- Vía sobre pórticos metálicos de apoyo, en los fosos de los talleres y de las zonas de inspección y medición.

Drenaje

Para este capítulo, se tomó como referencia la información de climatología e hidrología, así como las condiciones de operación del sistema de protección contra incendios, con lo cual se realizó la estimación del drenaje del túnel y el pre-dimensionamiento de los componentes principales del sistema.

Para el drenaje del túnel, se proyectó como elemento principal un canal que se localiza longitudinalmente sobre el eje del trazado, el cual recibirá los aportes de los drenajes trasversales. Cuando dichos drenajes lleguen a los puntos más bajos dispuestos por el trazado de túnel, serán almacenados e impulsados por sistemas de bombeo que se localizarán en las estaciones o salidas de emergencia, para su evacuación y disposición al sistema de alcantarillado pluvial o combinado, existente de la ciudad.

La siguiente figura presenta una sección típica para el tramo de túnel que se construirá con tuneladora, donde el drenaje se evacuará por una salida de emergencia.

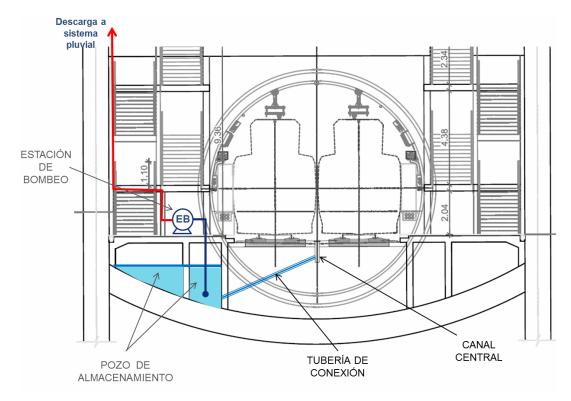


Figura 22.- Conexión y sistema de drenaje propuesto en salidas de emergencia





Existen tres tipos de drenaje que es necesario evacuar en la condición de servicio de la PLMB:

- El primer tipo de drenaje proviene del drenaje de pantallas o túnel, que está asociado a la permeabilidad final con la que quedaran construidos estos elementos y contará con un revestimiento especial, que en alguna medida reducirá la permeabilidad del túnel y por ende la generación de este tipo de drenaje.
- El segundo tipo de drenaje es producido por el ingreso de precipitación por las ventilaciones de túnel o el foso de ingreso, al inicio del trazado del túnel.
- El tercer tipo de drenaje, corresponde a la entrada en operación del sistema de protección contra incendio del túnel. Debido a que su magnitud es muy superior a los dos tipos de drenajes mencionados, se establecerá como el sistema de drenaje de diseño prioritario y será con el que se dimensionarán las estructuras propuestas, en especial el canal longitudinal central, que es el elemento principal del sistema.

El tramo inicial del trazado de túnel, donde se localiza el foso de ingreso, entre las abscisas K0+000 hasta K0+936 previo a la estación Portal de las Américas, se considera un caso especial ya que en este sector, el caudal de diseño de drenaje está definido por la precipitación directa que ingresa al foso, el cual cuenta con dimensiones de 293 m x 10,4 m en la entrada, por lo que tendrá un área expuesta de 3.047 m².

Principalmente, el drenaje del túnel llegará a las estaciones de la PLMB, donde será almacenado y posteriormente evacuado por un sistema de bombeo que ha sido predimensionado, calculado y presupuestado en el capítulo de instalaciones de las estaciones de la PLMB.

Sin embargo, se han predispuesto por el diseño geométrico del trazado de túnel, ocho (8) puntos bajos adicionales (a los de estaciones). En seis (6) de ellos, se localizaron salidas de emergencia, hacia donde será drenado y evacuado al sistema de alcantarillado de la ciudad. En los dos (2) puntos bajos restantes, se localizará un sistema de bombeo que impulsará el caudal drenado por una tubería, que se localizará longitudinalmente al túnel, ingresará a la estación y será evacuada para su final disposición al sistema de alcantarillado de la ciudad. La siguiente tabla presenta la localización de los puntos mencionados anteriormente.

TRAMO	REFERENCIA	PK	CONDICIÓN DE DRENAJE
	B01	K3 + 784.00	BOMBEO A E05 - KENNEDY
TRAMO 1	B02	K4 + 810.00	BOMBEO EN SALIDA DE EMERGENCIA SE1
	B03	K5 + 817.06	BOMBEO A E07 - 1° MAYO
	B04	K0 + 949.64	BOMBEO EN SALIDA DE EMERGENCIA SE2
TRAMO 2	B05	K2 + 264.64	BOMBEO EN SALIDA DE EMERGENCIA SE3
	B06	K3 + 744.64	BOMBEO EN SALIDA DE EMERGENCIA SE4
	B07	K6 + 494.64	BOMBEO EN SALIDA DE EMERGENCIA SE5
TRAMO 3	B08	K1 + 953.56	BOMBEO EN SALIDA DE EMERGENCIA SE6

Tabla 33.- Localización de estaciones de bombeo para drenaje de túnel.

Cada uno de los sistemas de bombeo previamente mencionados se dimensionó utilizando tres bombas de evacuación, cada una de ellas con la capacidad del 50% del caudal de diseño obtenido (teniendo en cuenta la eficiencia del sistema). En operación normal, dos estarán funcionando y la tercera permanecerá como suplencia.

3.12 Estructuras

Este capítulo resume los principales elementos estructurales del diseño de la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Las estructuras que se describen aquí son las siguientes:

- Puentes peatonales
- Estructura de la Calle 26
- Estructuras de la Calle 127
- Parqueadero del Parque del Tercer Milenio
- Box Culverts
- Viaducto del ramal técnico

Las estructuras pertenecientes a otros Productos del proyecto como son el túnel, las estaciones, los talleres y cocheras o el Puesto Central de Control (PCC) se describen en sus apartados correspondientes





3.12.1 Puentes peatonales

A lo largo de toda la Línea se ven afectados un total de 13 puentes peatonales existentes, que se describen en la siguiente tabla resumen.

TRAMO	REFERENCIA	PK	SITUACIÓN	ACTUACIÓN
	P1	1+275	Avda. Ciudad de Cali	Desmontaje y almacenamiento. Sustitución por pasos inferiores de los accesos a la estación y paso peatonal a nivel semaforizado en Avda. Ciudad de Villavicencio
TRAMO 1	P2	4+447	Avda. Primero de Mayo	Demolición y sustitución por paso peatonal a nivel semaforizado
	P3	5+550	Avda. Kra. 72. Boyacá	Demolición y sustitución por pasos inferiores de los accesos a la estación y paso peatonal a nivel semaforizado
	P4 5+874 Avda. Pi		Avda. Primero de Mayo	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central
	P5	0+150	Avda. Primero de Mayo	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central y el estribo sur
	P6	0+719	Avda. Primero de Mayo	Demolición y sustitución por paso peatonal a nivel semaforizado en cruce con Kra. 52B
TRAMO 2	P7	1+348	Avda. Primero de Mayo	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central
	P8	2+090	Avda. Primero de Mayo. Río Albina	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central
	P9 3+114 Avda. C		Avda. Ciudad de Quito, NQS. Kra. 30	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación de pila central. Desmontaje y traslado y acopio de rampa de conexión con TransMilenio
	P10	4+060	Kra. 11	Se mantiene la pasarela. No afectada
	P11	4+714	Kra. 9. Río Molinos	Se mantiene la pasarela
TRAMO 4	P12	6+013	Kra. 9 con Calle 123	Se desmontan y reponen dos vanos afectados
	P13	6+724	Calle 127. Río Callejas	Se mantiene la pasarela. Tratamiento de la cimentación

Tabla 34.- Puentes peatonales existentes afectados por la PLMB

Las actuaciones previstas en cada uno de ellos son las siguientes:

- P1. Tramo 1. Pk 1+275. Avda. Ciudad de Cali

Se procederá al desmontaje de la pasarela peatonal en la Avda. Ciudad de Cali debido a la interferencia con el acceso a la estación y se procederá a su almacenamiento para su futura reutilización. Se sustituirá por los pasos inferiores de accesos a la estación y adicionalmente podrá utilizarse el paso peatonal semaforizado de la Avda. Ciudad de Villavicencio. El desmontaje de la pasarela deberá permitir su futura reutilización en el punto en que se indique por parte del Distrito. En todo caso se preverá su traslado y acopio a lugar de instalación o almacén.

- P2. Tramo 1. Pk 4+447. Avda. Primero de Mayo

Se propone la demolición de la pasarela peatonal en la Avda. Primero de Mayo debido a su mal estado de conservación y al incumplimiento con la normativa vigente, siendo sustituida su función por un paso peatonal semaforizado.

- P3. Tramo 1. Pk 5+550. Kra. 72. Boyacá

Se propone la demolición de la pasarela peatonal en la Avda. Kra. 72. Boyacá, para permitir la construcción de la estación, sustituyendo su función por un paso peatonal semaforizado.

- P4. Tramo 1. Pk 5+874. Avda. Primero de Mayo

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica (tubular) que cruza la Avda. 1º de Mayo, con un separador central entre las calzadas y en el cual se encuentra el apoyo central. Se mantendrá la pasarela y se realizarán tratamientos en la cimentación de la pila central, consistentes en sustituir los pilotes actuales por una serie de micropilotes que tengan una capacidad superior para resistir las acciones que transmite el encepado a los pilotes existentes.

P5. Tramo 2. Pk 0+150. Avda. Primero de Mayo

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica (de doble arco) que cruza la Avda. 1º de Mayo, con un separador central con arbolado entre las calzadas y en el cual se encuentra el apoyo central. Se mantendrá la pasarela y se realizarán tratamientos en la cimentación de la pila central y del estribo sur, consistentes en reforzar la cimentación existente con unos micropilotes que asuman todas las cargas, de





manera que no se cuente con la contribución de la cimentación actual, es decir el conjunto de micropilotes en cada encepado tendrá una capacidad mayor que la existente para resistir todas las acciones que transmite el encepado a los pilotes existentes.

- P6. Tramo 2. Pk 0+719. Avda. Primero de Mayo

Se proyecta la demolición de esta pasarela peatonal debido a la afección por el paso de la tuneladora en la cimentación de la pila de la mediana, siendo sustituida su función por un paso peatonal semaforizado en el cruce con la Kra. 52B.

- P7. Tramo 2. Pk 1+348. Avda. Primero de Mayo

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica con pilas de hormigón que cruza la Avda. 1º de Mayo. Presenta una pila central en la mediana que separa las calzadas, la cual se encuentra con una hilera de árboles plantados. Se mantiene la pasarela y se hacen tratamientos en la cimentación de la pila central, con una solución análoga a la descrita para las anteriores.

- P8. Tramo 2. Pk 2+090. Avda. Primero de Mayo

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica (tubular) que cruza la Avda. 1º de Mayo. Presenta una pila central en la mediana que separa las calzadas, la cual se encuentra con una hilera de árboles plantados. Se encuentra sobre el río Albina. Se mantiene esta pasarela realizando un recalce con micropilotes en la cimentación del apoyo central.

- P9. Tramo 2. Pk 3+114. Avda. Ciudad de Quito NQS

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica (tubular) que cruza la Avda. Ciudad de Quito NQS, justo pasando el cauce del río Fucha. Presenta una pila central en la mediana que separa las calzadas, la cual se encuentra con una hilera de árboles plantados. Se propone mantener esta pasarela, protegiendo la cimentación de la pila mediante un tratamiento tipo "tienda canadiense" con jet grouting. Se desmontará y trasladará para acopio en almacén la rampa de conexión de la pasarela con TransMilenio.

- P10. Tramo 4. Pk 4+060. Carrera 11

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica atirantada, que se mantiene. No se ve afectada.

- P11. Tramo 4. Pk 4+714. Carrera 9

Se trata de una pasarela peatonal de estructura metálica, que se mantiene. Cruza también sobre el ferrocarril.

- P12. Tramo 4. Pk 6+013. Carrera 9

La construcción de la Estación Calle 127 va a interferir con la pasarela existente que cruza la avenida Laureano Gómez o la avenida Carrera 9 a la altura de la Calle 123. Por ello va a ser necesario proceder a desmontar dicha pasarela antes de la construcción de la estación para volver a montarla con posterioridad. La única modificación prevista consiste en girar la rampa oeste para adecuarla a la orientación viaria.

- P13. Tramo 4. Pk 6+724. Calle 127

Se mantiene la pasarela peatonal de la Calle 127 permitiendo el cruce sobre el río Callejas. Se incluye tratamiento al lado del pilote afectado por la realización del túnel.

3.12.2 Estructura de la Calle 26

La solución para el paso bajo la estructura de la Calle 26 se encuentra descrita con más detalle en el Capítulo 3.14. Túnel. Apartado 3.14.7. Tratamientos del Terreno, de la presente Memoria.





El túnel discurre por debajo del Puente de la Calle 26, afectando a sus estribos y a sus pilares centrales. Debido a que se intercepta la cimentación de la estructura, se ha previsto en este punto un tratamiento singular, que consiste en:

- En los estribos:

Se ejecutará una mejora del terreno mediante columnas de Jet-Grouting, con el objetivo de asegurar la estabilidad sobre clave del túnel y reducir la afección a la cimentación de los estribos.

- En las pilas centrales:

- Se procederá en primer lugar a un macizado de las pilas para que adquiera mayor rigidez el conjunto.
- 2. Se ejecutará un tratamiento en el terreno con columnas de Jet-Grouting entre los pilotes y alrededor de los mismos.
- 3. Se ejecutará un zuncho y posteriormente se cortarán los pilotes centrales que interfieren con la tuneladora.

3.12.3 Estructuras de la Calle 127

Paso bajo la estructura de la Carrera 11

Debido a la construcción en túnel, la cimentación de las pilas 5 y 6 del puente de la Carrera 11, se ve afectada. Para garantizar la seguridad y funcionamiento de esta cimentación se procede a la sustitución del encepado y sus pilotes por una solución que garantice e incremente la capacidad de los pilotes existentes y del encepado resultante frente a las acciones que le transmiten los fustes de las pilas afectadas.

La estructura existente es un puente continuo de 6 vanos de 20,00 m de longitud cada uno, construido mediante vigas prefabricadas de hormigón postesas sobre las que se construye una losa de hormigón superior de 7,00 m de ancho y 0,20 m de canto, una losa de hormigón inferior de 4,40 m de ancho y 0,15 m de canto y dos jabalcones laterales para resistir los voladizos, de 0,10 m de canto. El canto total es de 1,20 m. Sobre pilas se da continuidad mediante la construcción de una traviesa de 1,20 m de longitud.

Las pilas afectadas (pilas 5 y 6) consisten en un fuste circular de 1,00 m de diámetro de hormigón armado, sobre el que se dispone un aparato de neopreno para dar apoyo al tablero.

La cimentación de la pila es mediante un encepado de dos pilotes de hormigón de 0,65 m de diámetro y 42,00 m de longitud, armados únicamente en los 18,00 m superiores. El encepado tiene 2,40 x 3,85 m en planta y 1,60 m de canto.

La situación en planta viene limitada por la posición de las pantallas y del actual encepado, debido al proceso constructivo, la cimentación actual no puede demolerse ni ver reducida su capacidad durante la construcción del nuevo encepado. Por tanto se colocarán dos pilotes alineados con la pila y paralelos a la nueva pantalla para disponerlos de la forma más alejada de la misma y garantizar la seguridad frente al vuelco de la pila y para dotar de mayor resistencia se colocará un tercer pilote en perpendicular a los otros dos. Para evitar afecciones con el actual encepado los nuevos pilotes garantizarán un resguardo de 0,50 m. El encepado resultante es triangular de 3 pilotes de 0,85 m de diámetro y 42,0 m de longitud.

La secuencia constructiva será la siguiente:

- Se realizará la excavación hasta la cota del fondo del encepado nuevo, dejando a la vista los actuales pilotes. Se construirá haciendo coincidir las caras superiores de los dos encepados.
- Se construirán los nuevos pilotes.
- Se dispondrá todo el armado de la cara inferior del encepado.
- Se dispondrán los elementos de conexión entre el antiguo encepado y el nuevo, que consistirá en barras ancladas en el actual encepado y fijadas con resina epoxi y con longitud suficiente para garantizar la transmisión de los esfuerzos rasantes, además del tratamiento de toda la superficie del encepado para garantizar la adherencia con el nuevo hormigón.
- Colocación del resto de armaduras del encepado y hormigonado del mismo.
- Relleno con tierras hasta la cota del terreno actual.
- Cruce bajo la estructura Sur de la Calle 127

El cruce bajo la estructura Sur de la Calle 127 presenta una afección a dos pilas de la estructura existente. Cada una de estas dos pilas, están compuestas por dos fustes que se empotran en sendos encepados de forma sensiblemente rectangular, cada uno con 4 pilotes de concreto reforzado de 0,60 m de diámetro.





La solución que se plantea pretende evitar transmitir cargas a una infraestructura de la Línea 1 del Metro, y además sustituir los pilotes afectados por una solución que proporcione a los dos encepados afectados una capacidad de resistir las acciones que estos transmiten mucho mayor que la que proporcionaban los pilotes afectados de los citados encepados. Para conseguir esto se plantea lo siguiente:

- Construir la parte de la línea que cruza por debajo de la estructura en túnel excavado por medios convencionales (túnel en mina) (35 m aproximadamente).
- Construir unas vigas de gran canto de concreto reforzado, que se excavan por debajo de los encepados y se conectan a éstos por debajo, y que transmiten las cargas del encepado a sendos encepados nuevos que se construyen fuera de la zona de afección del túnel.

El procedimiento constructivo para realizar la solución presentada, consiste en lo siguiente:

- Ejecución del túnel artificial entre pantallas a ambos lados de la zona que va a ir en túnel en mina, así como ejecución de las pantallas de cierre, para poder emboquillar el túnel en mina posteriormente.
- Cimbrado de los 3 vanos de la Estructura Sur de la calle 127 que cargan sobre las pilas afectadas.
- Ejecución de los pilotes de los futuros encepados de las vigas de gran canto.
- Excavación de las vigas de gran canto bajo los encepados afectados y excavación de los encepados de las mismas
- Ferrallado de las vigas de gran canto, incluso de la conexión de las mismas con los encepados existentes
- Hormigonado
- Relleno de las excavaciones
- Descimbrado de los 3 vanos de la estructura Sur de la Calle 127
- Ejecución del tramo del túnel en mina
- Cruce bajo la estructura Norte de la Calle 127

El cruce bajo la estructura Norte de la Calle 127 presenta una afección a los muros-aletas de la estructura existente, que deberán ser demolidos antes de la ejecución del túnel entre pantallas, para ser reconstruidos una vez ejecutado éste.

3.12.4 Pargueadero del Pargue del Tercer Milenio

En el Parque del Tercer Milenio existe un parqueadero subterráneo que se verá afectado por la construcción del túnel y que será necesario reponer. Se afecta también a una subestación eléctrica junto con un sistema de cargue de vehículos eléctricos. Se describe a continuación el proceso constructivo para su reconstrucción.

- Traslado de la subestación eléctrica y del sistema de cargue de vehículos eléctricos a su nueva ubicación.
- Construcción del cuarto de la subestación eléctrica
- Construcción de un muro de 0,25 m de espesor
- Excavación hasta el nivel superior de la cubierta
- Demolición de la cubierta, columnas y muros laterales
- Demolición de la losa de contrapiso, incluido vigas de amarre y dados de pilote
- Relleno de material seleccionado y compactado

3.12.5 Box Culverts

Con las obras se verán afectados dos Box Culverts existentes que será necesario reponer.

- Box Culvert río Negro. Una celda de 2,00 m de luz libre por 1,75 m de altura libre. Placas de concreto de 0,25 m de espesor.
- Box Culvert Av. Santa Fe. Una celda de 3,00 m de luz libre por 2,95 m de altura libre. Placas de concreto de 0,40 m de espesor.

3.12.6 Estructuras del Ramal Técnico

Descripción de las estructuras y condicionantes de diseño

En esta sección se presenta el análisis y diseño estructural de ingeniería básica para el viaducto de la vía férrea doble - triple para el ramal técnico de la Primera Línea del Metro de Bogotá, desde la estación Portal de Las Américas hasta el patio taller que se ubicará en la zona denominada Bosa 37.

El proyecto consiste en un viaducto ferroviario con una longitud total de 4.250 m, partiendo del patio taller ubicado en el predio denominado Bosa 37, donde en los primeros 295 m, desde el punto kilométrico 0+180 del Ramal Técnico al punto kilométrico 0+475 se presentan tres vías con ancho trocha de 14 m, repartidas en luces de 40 m y 30 m en función de las condicionantes del trazado, en donde tomará un giro hacia el





norte y seguirá paralelo al diseño de la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) adosado a la vía de servicio y cruzando las reservas viales de las vías CL 63 S y CL 54 S.

Posteriormente el trazado se desvía en el predio Gibraltar y baja nuevamente a superficie rasante para empalmar con el diseño de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), tramo que comprende 3.955 m, desde el punto kilométrico 0+475 al punto kilométrico 4+430, en los cuáles se presentan dos vías con ancho trocha de 10 m y que se reparten en luces de 30 m, 35 m, 40 m y 45 m.

La superestructura consiste en un tablero en placa maciza, con acero de refuerzo principal, perpendicular al tráfico y apoyado sobre vigas cajón de concreto pre esforzado, soportadas por vigas transversales (vigas cabezal), las cuales se soportarán a su vez en dos o tres pilas de concreto reforzado según sea el caso del ancho del tablero y número de carriles.

La cimentación está conformada por dados sobre pilotes profundos en concreto reforzado, de acuerdo con las recomendaciones del estudio geotécnico del proyecto para la estructura.

El gálibo será de 5,50 m en correspondencia de las condicionantes del proyecto como lo son las vías existentes y las vías que están proyectadas para tener acceso a la Avenida Longitudinal de Occidente para prever el paso de vehículos de cualquier tipo bajo el viaducto.

Adicionalmente, en el trazado longitudinal y transversal se tendrá en cuenta la posibilidad de implantación de dos estaciones futuras en el tramo objeto de esta sección, razón por la cual se dejarán las condiciones óptimas para construir dichas estaciones sin afectar el normal funcionamiento del sistema de transporte. Dichas condiciones incluyen tramos de mínimo 180 m para la disposición de las estaciones, pendiente longitudinal del 0% y trazado en planta rectilíneo así como serán conservadas las dimensiones de distancias al andén y altura del andén manteniendo la compatibilidad con toda la línea.

- Cargas de diseño

Para el desarrollo del proyecto fueron consideradas las siguientes cargas:

- (D) Cargas muertas: Peso propio de elementos estructurales, bordillos, barandas, superestructura de vía férrea, tablero, mecánicos e instalaciones.
- (L) Cargas vivas del material móvil metro considerando los efectos dinámicos debidos al tráfico a través de la consideración del coeficiente de impacto
- Fuerzas horizontales: (CF) Fuerza Centrifuga
 - (CF) Efecto de lazo
 - (LF) Acciones de Arranque y Frenado
- (W) Cargas de viento sobre la estructura
- (W) Acciones aerodinámicas debidas al tráfico ferroviario
- (DS) Situaciones accidentales: Descarrilamiento de vehículos ferroviarios
- (T) Carga de temperatura
- (EQ) Fuerzas Sísmicas

Para el diseño de la estructura fueron evaluadas las distintas combinaciones de carga establecidas en el CCDSP-95, adicionalmente para tener en cuenta el efecto de la presencia de carga viva durante un evento sísmico fueron considerados los criterios de combinación de cargas de AASHTO en donde se establecieron varios porcentajes de presencia de carga de viva en concomitancia con la fuerza sísmica.

Análisis y diseño estructural

El análisis estructural se hizo con el programa SAP 2000 y el pre-diseño se complementó con hojas de cálculo de autoría del calculista. Dentro de la modelación se utilizó la geometría de cada una de las vigas y se asumió que están simplemente apoyadas. Se aplicó cada uno de los casos de carga descritos anteriormente y se hicieron las correspondientes combinaciones de cargas para el pre-diseño.

A los elementos tipo Frame (vigas) se le asignaron diferentes Paths o caminos para simular la carga móvil viva debida al convoy y la debida a descarrilamiento sobre la estructura, en los datos de entrada de cada modelo se pueden apreciar dichos caminos asumidos para el paso de la carga según la geometría.

Cada viga se modeló como un elemento tipo frame, simplemente apoyado. Se describen a continuación los esquemas estructurales adoptados en función del ancho de trocha y de la luz.



Se tienen dos grupos de vigas:

- El primero corresponde a vigas cajón con tablero de 10.0 m de ancho y luces de 30.00 m, 35.00 m, 40.00 m y 45.00 m. En la figura a continuación, se presenta la sección tipo de la estructura para luces de 30 m en donde la altura de la viga cajón es de 2 m, dimensión que varía en función de la luz hasta un máximo de 3.7 m. Dicha viga está apoyada en dos pilas de sección transversal de 1.50 m x 1.50 m que yacen sobre un cabezal de pilotes de altura 1.50 m con 8 pilotes de diámetro 1.00 m y de profundidad 10 m.
- El segundo grupo corresponde a vigas cajón con tablero de 14 m de ancho y luces de 30.00 m y 40.00 m. Análogamente se presenta a continuación en la figura correspondiente, la sección tipo para la estructura con luces de 40 m en donde la altura de la viga cajón es de 3.4 m mientras que para una luz de 30 m se tiene una altura de la viga de 2.4 m. Esta viga se apoya sobre 3 pilas de sección transversal 1.50 m x 1.50 m que se encuentran sobre un dado de pilotes de 1.40 m de altura con 10 pilotes de diámetro 1 m y profundidad de 10 m.

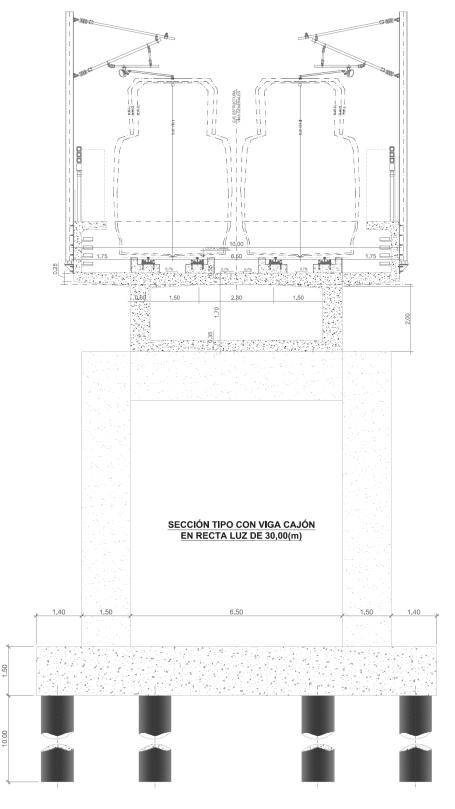


Figura 23.-Sección estructural tipo para viaducto con dos carriles y luz de 30 m



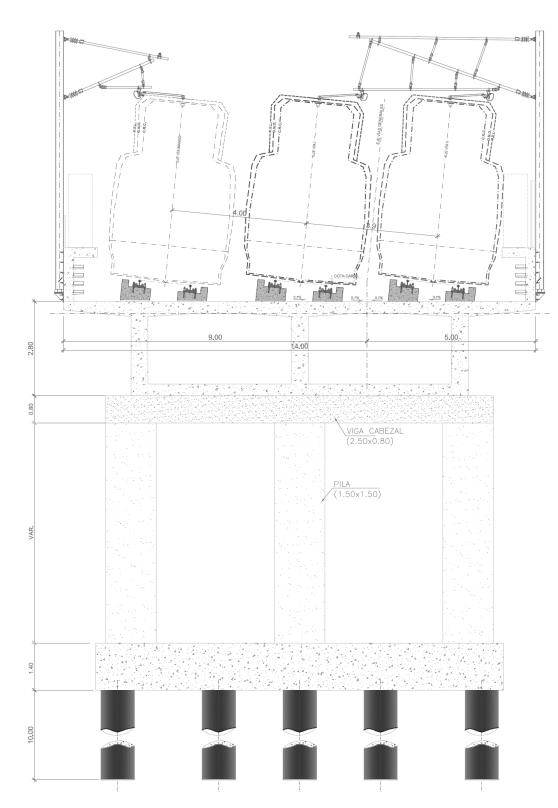


Figura 24.-Sección estructural tipo para viaducto con tres carriles y luz de 40 m

3.13 Túnel

3.13.1 Introducción

En este apartado se establece el criterio para el diseño de la geometría del túnel que mejor se adapte a los requerimientos de explotación del proyecto, así como el método de excavación que se considera más adecuado para llevarlo a cabo.

Además de la definición de la geometría y métodos de construcción, también se describen en este apartado otros aspectos relacionados con el diseño del túnel, como son:

- Las instalaciones de obra necesarias para la construcción del túnel (planta de fabricación de dovelas, equipos auxiliares de la tuneladora EPB, zonas de acopios de materiales,...)
- El pozo de ataque del Parque del Tercer Milenio, para el acceso a la obra de las tuneladoras
- Las instalaciones no ferroviarias (evacuación y protección contra incendios, ventilación, instalación eléctrica, alumbrado)
- Salidas de emergencia para conseguir una correcta y segura evacuación de las personas en caso de incendio.
- Inventario de estructuras civiles y edificaciones presentes en el área de influencia y que podrían verse afectadas por las obras.

Se han diseñado tres (3) secciones tipo, en función del proceso constructivo, así se tiene:

- Si se ejecuta con tuneladora se considera un diámetro interior de uso de 9,80 m, el cual se aumenta en 24 cm dado que hay que admitir ciertas tolerancias constructivas, además se debe tener en consideración las convergencias del túnel y admitir que el gálibo conviene aumentarlo. Por tanto, los diámetros teóricos interior y exterior del anillo de dovelas serán 9,80 m y 10,56 m (para espesor de dovelas 0,38 m), y considerando las tolerancias constructivas pasan a ser 10,04 m y 10,80 m respectivamente.
- De igual modo, también se aumenta la separación entre pantallas ya que también se debe considerar una tolerancia constructiva por error en la verticalidad de las mismas (del orden del 1%).
 Con ello la anchura y altura libres de la sección serán respectivamente de 10,00 m (considerando una tolerancia constructiva de 0,15 m a cada lado) y 6,40 m (desde cota carril).





 Por último, también se ha diseñado una sección tipo de túnel convencional para el caso de pasos puntuales, considerando para dicha sección los mismos gálibos previstos en la sección con tuneladora.

En relación con las características geotécnicas del trazado cabe mencionar que la clasificación en unidades geológicas y geotécnicas uniformes, dada la gran variabilidad que presentan a lo largo del trazado, ha llevado a tener que utilizar diferentes criterios hasta encontrar el que se considera más apropiado. El criterio de clasificación final de los materiales se ha descrito en el apartado 3.4 Geología y geotecnia de la presente memoria.

3.13.2 Procedimientos constructivos

Para la toma de decisión del método constructivo se han analizado distintas alternativas y se han evaluado distintos aspectos. A grandes rasgos se analizan dos métodos constructivos: Con tuneladora EPB o con túnel ejecutado al abrigo de pantallas (método "cut and cover"). Existe un tercer método, túnel excavado con métodos convencionales, que se ejecutará en situaciones puntuales (en situaciones singulares), cuando no sea viable ninguno de los dos métodos anteriores.

Analizados los distintos condicionantes (geológico-geotécnicos, geometría del trazado tanto en planta como en alzado, afecciones a edificios, puntos singulares, afecciones a servicios, tráfico, ubicación de instalaciones provisionales y parque de dovelas,...), también se han tenido en cuenta el plazo y el coste económico de cada una de las alternativas. Se realiza un análisis multicriterio en cada tramo y se concluye que:

- En los Tramos I y II caben todas la posibilidades, pero la más ventajosa es ejecutar el túnel con dos tuneladoras EPB. Una iniciando desde el Tintal y finalizando en la Estación Avda. 68 y la segunda arrancando desde el Parque Tercer Milenio (pasada la Estación Hortúa) y avanzando en sentido PKs decrecientes hasta la Estación Avda. 68.
- En el Tramo III, debido a la existencia de dos puntos singulares de importancia que condicionan el proceso constructivo (cruce de la Calle 26 y paso por debajo de la estación del Transmilenio) en el tramo inicial no existen alternativas comparables, analizándose en ambas opciones el mismo proceso constructivo, es decir, túnel por medio de tuneladora EPB en la cual se profundiza la rasante a partir de la Estación Lima y se profundiza también la Estación de la Rebeca para para ir

ganando recubrimiento y poder pasar por debajo de ambas estructuras. Todo ello aunque la presencia de bloques rocosos en el recubrimiento sobre la Formación Bogotá, sea un obstáculo resoluble que penalizaría el avance de la tuneladora.

Se considera que la opción más favorable es el túnel con tuneladora en el tramo inicial (desde el Parque Tercer Milenio –Tramo II- hasta la Estación de Gran Colombia) y continuar con el túnel al abrigo de pantallas continuas de hormigón con "costillas" o "tapón" de jet-grouting en el fondo, si fuera preciso, en el resto (hasta la Estación Plaza de Lourdes).

• El Tramo IV presenta un importante problema de subsidencia regional y ello condiciona considerablemente el método constructivo. Se opta por una solución de túnel al abrigo de pantallas continuas de hormigón con "costillas" o "tapón" de jet-grouting en el fondo en todo el Tramo, desde la Estación de Lourdes hasta el fin del trazado (Calle 127).

En este Tramo IV se prevé la ejecución del túnel bajo el cauce del río Molinos con una sección tipo de túnel convencional, dado que no es operativo plantear un desvío provisional del cauce, y también el paso bajo la estructura de la Calle 127 debido a la dificultad de encajar una solución entre la fundación existente.

3.13.3 Descripción tuneladora y dovelas

Las tuneladoras EPB (Earth Pressure Balance) son adecuadas para terrenos cohesivos, incluso inestables y afectados por el nivel freático permanente. La máquina dispone en su frente de una cámara, en la cual el material excavado mezclado con agua (bien del propio terreno o bien de aportación por la máquina) entra y es extraído cuando la presión provocada por el empuje de la propia máquina iguala a al del terreno.

Puede trabajar en modo abierto, cuando el frente es estable y no hay que mantener la presión, o en modo cerrado con frentes inestables. Es imprescindible el uso de dovelas para contener el terreno y para que, mediante el apoyo de los gatos contra ellas, la tuneladora avance. Se usan agentes condicionantes, como son agua, espumas, bentonita y polímeros para mejorar la plasticidad del terreno y facilitar la extracción del material.





La selección del tipo de tuneladora TBM a emplear en un proyecto viene determinada por distintos factores, como son: El tipo (Roca, suelos o terrenos mixtos) y las características (granulometría, densidad, dureza, plasticidad, compacidad, resistencia a tracción y compresión, abrasividad y permeabilidad) del suelo, presencia de agua, características del túnel (longitud y diámetro), transporte del material, experiencias previas, impacto ambiental, economía.

La tuneladora que más se adapta a las características del terreno de la Primera Línea del Metro de Bogotá es una **TBM EPB**, ampliamente experimentada en el mundo para los diámetros previstos, a la que se pedirán como características adicionales:

- 1ª/ La cabeza perforadora debe incorporar una o varias machacadoras que reduzcan el tamaño de los bolos a una dimensión manejable por la máquina.
- 2ª/ La existencia de lentejones de arena con escasez de finos obliga a que la máquina pueda inyectar bentonita, además de otros productos, en la cámara de excavación.
- 3ª/ El afloramiento del material terciario rocoso debe ser afrontado por la máquina mediante la posibilidad de sustituir las herramientas de corte tipo "Picas" de arcillas por "cortadores" de roca. Asimismo se montarán estabilizadores que impidan un cabeceo de la máquina hacia donde aparezca el punto duro.
- 4ª/ La localización de metano en las muestras tomadas debe ser controlada en la máquina mediante detectores de presencia, ventilación y extracción del gas y equipos auxiliares de los trabajadores de los que la máquina debe estar dotada. Se debe instalar un control de insuficiencia de oxígeno.
- 5ª/ La combinación de la presencia de lentejones arenosos sin finos y del nivel freático alto, pueden hacer que la cámara de excavación esté en ocasiones llena de agua a presión. Esto hace que operaciones de comprobación de herramientas de corte y su sustitución pueda ser necesario llevarlas a cabo en condiciones hiperbáricas, para lo que la máquina debe estar diseñada

También se requiere la construcción de un pozo de ataque por el cual se introduce la maquinaria, se procede a su montaje y se inicia el proceso constructivo, de igual modo se requiere un pozo de salida en el cual se desmonta la maquinaria para su retirada.

En relación con las características de la tuneladora, de acuerdo con la geometría, trazado, geología, etc. Se propone lo siguiente:

- <u>Diámetro y longitud</u>: Diámetro interior 10,04 m y el espesor del anillo de dovelas de 0,38 m. El gap suele ser del orden de 15-20 cm. Por tanto, el diámetro de excavación que se propone es de 11,19 m. La longitud de la EPB depende del fabricante y de su tecnología, pero cabe esperar una longitud de unos 100 m a 150 m.
- Presión máxima del frente: Teniendo en cuenta la profundidad del túnel y las características geológicas se espera una presión máxima del frente de 3 bares.
- <u>Potencia de corte</u>: Se considera necesario un par de 23.500,00 mKN que se pueda aumentar hasta 30.750,00 mKN para caso de desbloqueo.
- <u>Fuerza de empuje</u>: Se propone la utilización de 24 ó 39 gatos trabajando a una presión máxima de 350 bares, lo que se traduce en una fuerza de empuje específico de 100.000,00 KN y la posibilidad de que esta fuerza alcance de forma accidental los 114.500,00 KN trabajando a 400 bares.
- <u>Sobrecorte</u>: El debido al gap (para que las dovelas se monten al abrigo del escudo) se propone 20 cm, mientras que el debido al copy-cutter (sobreanchos para adaptarse al trazado) se considera adecuado 10 cm, teniendo en cuenta los radios del trazado.
- <u>Inyecciones</u>: Debe disponer como mínimo las inyecciones en el frente, en la cámara, en la parte alta de la cámara, en el centro del mamparo, en el tornillo de extracción y en la parte alta del escudo
- <u>Revestimiento</u>: Ante la variedad de radios existentes en este proyecto, la opción de anillo a emplear será el universal, el cual permite numerosas combinaciones de curvas, tanto en planta como en alzado. El anillo estará formado por 7 dovelas: 6 iguales y una de clave de mitad de desarrollo y con 2 x 7 – 1 = 13 posiciones posibles.
- Secuencia de trabajo: La secuencia de un ciclo de trabajo de excavación y colocación de anillo se inicia con la excavación del terreno hasta que los gatos se han alargado para dejar espacio a un nuevo anillo. Seguidamente se retraen los gatos en una zona para dejar espacio para una dovela. El erector coloca la dovela y esta se atornilla al anillo anterior, mientras los gatos se extienden de nuevo para apretar esa dovela. De nuevo los gatos se retraen para dejar espacio a la dovela adyacente, el erector la coloca y se atornilla al anillo anterior y a la dovela adyacente mientras es sujetado por la presión de los gatos que antes se acortaron. En nuestro caso esta operación se realiza 7 veces hasta que de nuevo empieza la fase de excavación.

Concretamente la máquina tuneladora TBM EPB debe diseñarse con los siguientes criterios:





- 1,80 m de avance en 28 min (65 mm/min trabajando a 3 bares)
- Colocación de un anillo de 6+1 dovelas de 1,80 m en 19 min.

Es decir el ciclo completo de excavación más colocación del anillo en 47 minutos trabajando en modo cerrado EPB a un máximo de 3 bares y con la cámara llena de escombro.

En lo relacionado con la geotecnia del túnel cuando se excava con tuneladora cabe mencionar que la excavación subterránea introduce una alteración del estado tensional del terreno, lo cual lleva asociada una generación de movimientos en zonas relativamente próximas a fin de restablecer el equilibrio tensional del suelo. Estas deformaciones que se producen en la superficie, originadas por alteraciones en el equilibrio interno del terreno y no por sobrecargas directamente aplicadas en ella, constituye el fenómeno denominado subsidencia.

Los desplazamientos tienen un carácter casi radial hacia el centro del túnel y pueden afectar a los edificios próximos si sus magnitudes son suficientes para ello, al experimentarlos las cimentaciones, y si se originan deformaciones peligrosas en la estructura. Además de los asientos, que son los movimientos que más habitualmente se evalúan, deben ser considerados los movimientos horizontales, cuya influencia suele ser más dañina.

Los movimientos finales son función de un gran número de variables, como la geometría del problema, heterogeneidad del terreno, presencia de agua, proceso constructivo, deformación relativa entibación-terreno y su evolución en el tiempo, los huecos entre el terreno y sostenimiento, el tiempo que transcurre hasta que se realizan las inyecciones de contacto, etc.

Teniendo en cuenta todos estos conceptos, se ha analizado el efecto que la excavación del túnel tiene, en las subsidencias generadas en superficie y en la variación de las presiones en el terreno alrededor del túnel, teniendo en cuenta distintos factores:

- Riesgo de hundimientos
- Efectos de la excavación del túnel
- Efecto de las subsidencias regionales
- Efecto del sismo

Por último, también se incluye las características y el dimensionamiento estructural de las dovelas del revestimiento.

3.13.4 Descripción túnel entre pantallas

Las pantallas diseñadas se sitúan en los tramos 1, 3 y 4 tal como se indica a continuación.

	Tramos de túnel entre pantallas	Altura máxima de excavación (m)	Tramificación
		5,37	0+000 - 0+100
		8,07	0+100 - 0+190
		11,14	0+190 - 0+292
TRAMO 1	Rampa de acceso de la tuneladora	16,19	0+292 - 0+460
		20,20	0+460 - 0+591
		21,57	0+591 - 0+700
		21,83	0+700 - 0+920
	Gran Colombia-Marly	20,79	3+654 - 3+870
	Gran Colombia-Marry	20,11	3+870 - 3+949
		17,86	4+440 - 4+620
TRAMO 3	Marly-Santo Tomás	18,25	4+364 - 4+440 4+620 - 4+810
	Santo Tomás-Plaza Lourdes	20,40	5+072 - 5+230 5+430 - 5+555
		20,66	5+230 - 5+430
TRAMOS 3 y 4	Plaza Lourdes-Avenida de Chile	19,35	5+764 - 5+940
TRAMOO 5 y 4	r iaza Loui des-Avenida de Onne	19,50	5+940 - 0+455
		22,24	0+990 - 1+300
	Avenida de Chile-Calle 85	22,76	1+300 - 1+390
	Avenida de Offile-Galle 03	18,86	0+716 - 0,840
		19,03	0+840 - 0+990
		18,73	1+670 - 2+100
	Calle 85-Parque 93	17,12	2+100 - 2+280
TRAMO 4	Calle 03-r al que 33	18,13	2+280 - 2+480
		18,94	2+480 - 2+607
		19,83	2+887 - 3+060
	Parque 93-Calle 100	20,00	3+060 - 3+180
		20,00	3+180 - 3+416





	Tramos de túnel entre pantallas	Altura máxima de excavación (m)	Tramificación	
	Calle 100-Usaquen	20,17	3+696 - 4+360 4+640 - 4+875	
	1.00	18,70	4+360 - 4+640	
		25,50	5+084 - 5+320 5+700 - 5+882	
	Usaquen-Calle 127	23,82	5+320 - 5+440	
		25,27	5+440 - 5+700	
		24,41	6+221 - 6+500	
	Calle 127-final del trazado	22,92	6+590 - 6+902	
	Cane 127-inial del trazado	22,90	6+500 - 6+590	
		22,90	6+500 - 6+590	

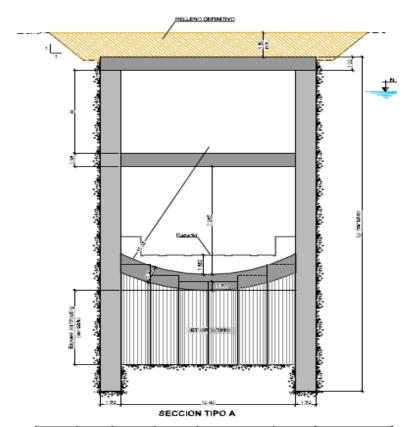
Tabla 35.- Tramos de túnel entre pantallas

Para el caso del túnel ejecutado mediante pantallas continuas se establece una anchura interior a las mismas de 10,40 m y un espesor de pantalla de 1,20 m, en función de los desplazamientos admisibles por las edificaciones próximas.

A continuación se muestran las diferentes secciones que van a aparecer a lo largo del trazado.

Sección tipo A

Consta de dos pantallas perimetrales, una losa intermedia de 0,95 m de canto y losa superior de 1,00 m de canto sobre la que se dispone el relleno de tierras. En la zona inferior aparece una contrabóveda de 1,20 de espesor sobre la que discurren las vías. Y bajo ella, un tapón de jet-grouting que se describe posteriormente.



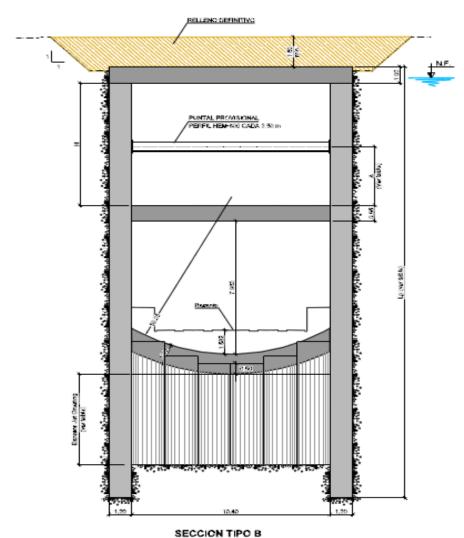
TIPO DE	TRAMO	P.K. Inicial	P.K. final	H	l (m)	Jet Grauting	Lp	р		
PANTALLA	TROMINO	F.K. Inicial	F.K. IIIIali	min		max	(m)	min	max		
		0+292.00	0+460.00	0	-	4.04	4.0	20.00 -	24.04		
I		0+460.00	0+591.00	4.04		7.94	4.0	24.00 -	27.90		
	' '	0+591.00	0+700.00	7.94	-	9.73	4.0	26.00 -	27.79		
I		0+700.00	0+920.00	9.73	-	9.73	4.0	28.00 -	28.00		
I		3+654.00	3+870.00	5.98	-	8.11	4.0	24.30 -	26.43		
I		3+870.00	3+949.00	7.35	-	8.01	4.0	23.60 -	24.26		
I		4+364.00	4+440.00	5.66	-	5.92	4.0	22.00 -	22.26		
I	101	4+440.00	4+620.00	5.45	-	5.66	4.0	21.50 -	21.71		
I		4+620.00	4+810.00	5.45	-16	5.67	4.0	22.00 -	22.22		
I		5+072.00	5+230.00	7.36	-	7.81	6.5	26.40 -	26.85		
I		5+430.00	5+555.00	5.98	-	6.69	6.5	26.40 -	27.11		
I	II - IV	5+764.00	5+940.00	5.4	~	5.93	4.0	23.00 -	23.53		
Α		5+940.00	6+181.13	5.04	-	6	4.0	23.00 -	23.96		
I		0+000.00	0+455.00	5.52	-	6.43	4.0	23.00 -	23.91		
I		0+716.00	0+840.00	5.82	-	5.9	4.0	22.40 -	22.48		
I		0+840.00	0+990.00	5.9		6.06	4.5	23.00	23.16		
I		0+990.00	1+300.00	6.08	-	9.29	4.0	25.80 -	29.03		
I		2+100.00	2+280.00	4.34	-	4.67	5.3	30.00 -	30.33		
I		2+280.00	2+480.00	4.34	-	5.65	5.0	44.00 -	45.31		
I	IV.	2+480.00	2+607.00	5.65	-	6.35	4.0	32.10 -	32.80		
I		2+887.00	3+060.00	6.32	-	6.8	4.0	23.50 -	23.98		
I		3+060.00	3+180.00	6.8	-	7.41	5.0	37.10 -	37.71		
I		4+360.00	4+640.00	5.85	-	6.28	6.0	56.70 -	57.33		
I		5+084.00	5+320.00	5.87	-	9.69	5.5	51.00 -	54.82		
		5+700.00	5+882.00	12.94	-	13.41	5.5	51.00 -	51.47		

Figura 25.- Túnel entre pantallas. Sección tipo A



Sección tipo B

Es similar a la anterior pero debido a la limitación de movimientos, durante la construcción es necesario disponer una fila de puntales metálicos provisionales que se retiran y se reutilizan una vez que se cierra la sección.

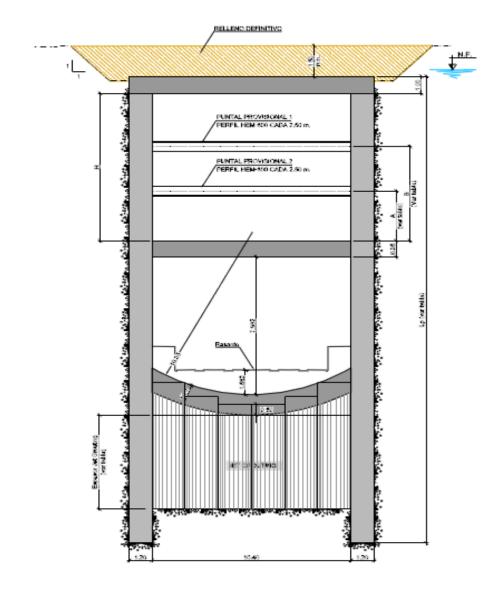


TIPO DE	TDAMO	NO P.K. Inicial P.K. final . H (m)		_ ^	Jet Grouting	L	p (m	1)			
PANTALLA	A TRAMO	D P.K. Inicial	F.K. IIIai	min		max	Α .	(m)	min		max
	III	5+230.00	5+430.00	6.69	-	7.99	(0.50 x H)	6.5	28.70	-	28.00
1		1+300.00	1+390.00	8.18	-	9.29	(0.40 x H)	4.0	28.00	-	29.11
В	l	1+670.00	2+100.00	4.67	-	6.05	(0.40 x H)	4.0	30.00	-	31.38
"	IV.	3+180.00	3+416.00	7.41	-	7.9	(0.40 x H)	5.0	42.20	-	42.69
1		3+696.00	4+360.00	5.93	-	7.87	(0.40 x H)	5.5	50.50	-	52.44
1		4+640.00	4+875.00	5.28	_	6.28	40.40 x 60	5.5	50.50	_	51.50

Figura 26.- Túnel entre pantallas. Sección tipo B

Sección tipo C

Es similar a la B pero en vez de una fila de puntales provisionales, ha sido preciso colocar dos.



SECCION TIPO C

	TIPO DE	TRAMO	P.K. Inicial	P.K. final		H (m))	А в		Jet Grouting	L	p (m)
- 1	PANTALLA				min		max		_	(m)	min		max
	_	3.7	5+320.00	5+440.00	9.69	-	10.75	$(0.40 \times H)$ (0	0.70 x H)	5.0	44.30	-	45.36
	U	IV.	6+590.00	6+902.00	8.07	-	10.14	$(0.30 \times H) (0.30 \times H)$	0.60 x H)	6	47.70	-	49.77

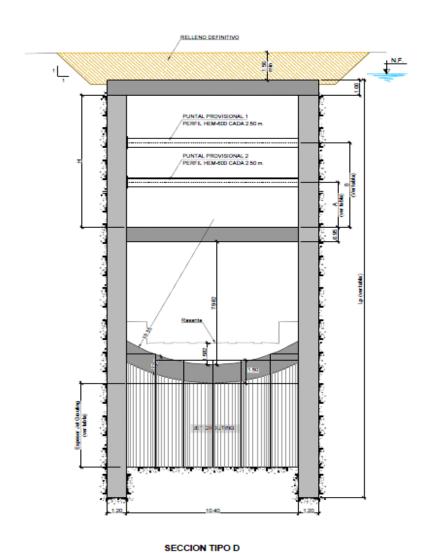
Figura 27.- Túnel entre pantallas. Sección tipo C





Sección tipo D

Es similar a la C, pero ha sido preciso incrementar 1,50 m el espesor del tapón de jet durante la construcción. Ese sobreespesor se demolerá una vez cerrada la sección.



H/m) les

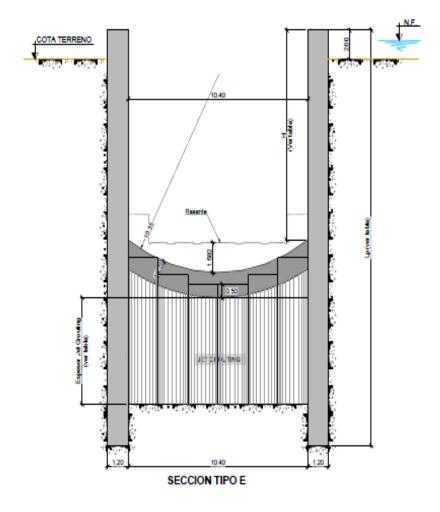
TIPO DE PANTA LA	TRAWO	P.K. Inic a	P.K. fnal	ı	l (m		А	Е	Jet Growing	l:	ı (m)
PANTA LA	1 11 11 11			min		max		-	(m)	min		max
		5+440.00	5+700.00	10.75	-	12.94	(G 4G x H)	$(9.89 \times H)$	5.51	40.50	-	12.59
D	M	8+221.03	6+500.00	10.82	-	12.34	(6 46 x H)	$(9.79 \times H)$	5.9 *	42.00	-	43.52
	l .	8+500.00	6+590.00	7.4	_	10.38	$(0.40 \times H)$	$(0.79 \times H)$	7.9*	49.50	-	51.46

[•] Demo et 1,50m de espesor de Jet Grouting por endima de la cota inferior de la contrabóveda

Figura 28.- Túnel entre pantallas. Sección tipo D

Sección tipo E

Se trata de pantallas en voladizo situadas al comienzo de la actuación, al comienzo de la zona de rampa. Debido a la posibilidad de inundaciones las pantallas deben prolongarse por encima del terreno natural.



TIPO D	TRAMO	2 K Jajoja	P.K. final	H	1(m)	Jet Grouting	L	p
PANTAL	A	1. 116.12		min	max	(m)	min	max
		04000.00	0+100 00	1.88	4.88	4	12.50	15.50
		0+100,00	0+190 00	4.86	- 7.26	4	16.50 -	- 18.90

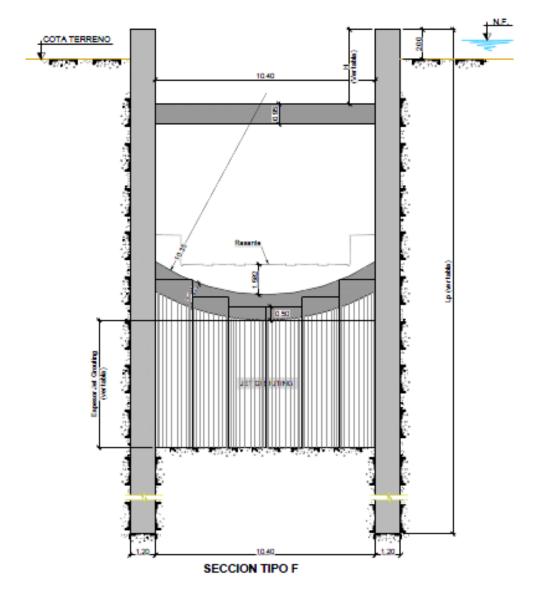
Figura 29.- Túnel entre pantallas. Sección tipo E





Sección tipo F

Una vez que la rampa va enterrándose en el terreno ya hay gálibo suficiente para añadir la losa intermedia.



TPO DE	TRAMO	P.K. Inicial	P.K. final		H(m)	Jet Grouting		-P	
PANTALLA	115-425-	T THE THEOREM	1 10 11 14	min		max	(m)	mir		max
F	- 1	0+190 00	0+292.00	0	-	3.61	4	21.50	-	25.11

Figura 30.- Túnel entre pantallas. Sección tipo F

El sistema constructivo elegido para la ejecución de estos tramos es el sistema cut&cover, mediante la ejecución de pantallas continuas de hormigón armado. Esta técnica consiste en la ejecución en primera fase de un muro pantalla de contención perimetral. Posteriormente, en una segunda fase se ejecuta la losa de cubierta o apuntalamiento superior que permite una pronta reposición del tráfico y otros servicios existentes. Finalmente se excava bajo cubierta procediendo al sostenimiento de los muros pantalla ejecutados mediante diversos niveles de apuntalamiento destinados a controlar los movimientos de dichos muros debidos a las presiones del nivel freático y del propio terreno.

Se propone la ejecución de un tratamiento de fondo de la excavación mediante un tapón de jet-grouting en las zonas donde exista riesgo de filtraciones y donde sea preciso controlar los movimientos del pie de las pantallas.

3.13.5 Descripción ejecución con método convencional

Por "túnel excavado por medios convencionales" se entiende aquel sistema constructivo secuencial de túnel en mina, a sección completa o parcial, cuyas fases, a grandes rasgos, son las siguientes:

- Excavación por medios mecánicos, palas, martillos, etc. de la sección completa o parcial en una longitud variable entre 1 y 3 m, dependiendo del tipo de terreno, que garantice temporalmente la estabilidad. En los casos en que el terreno es de muy mala calidad se requiere de un tratamiento previo.
- Sostenimiento temporal de la excavación realizada mediante elementos tales como cerchas metálicas, concreto lanzado con fibras o sin fibras, mallazo, con función estructural.
- Revestimientos definitivo mediante concreto en masa o armado cuyo cometido es funcional (estético, ventilación, luminosidad,...) además de estructural a largo plazo.
- Impermeabilización mediante láminas de PVC con geotextil interpuestas entre el sostenimiento y el revestimiento de manera que impidan la entrada de las filtraciones de agua al túnel procedente del terreno, dirigiéndolas a los drenajes laterales.

En la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB) está prevista la ejecución de túnel por este sistema en tres puntos:





• En el Tramo III a la altura del pk 1+950, coincidiendo con la Salida de Emergencia prevista en la zona ocupada actualmente por la Estación de Transmilenio, con el fin de conectar el fondo de los pozos verticales de acceso con el túnel ejecutado con tuneladora a nivel de andén, por lo que se ha previsto una galería de 10 m y 6 m de longitud a cada lado del túnel con una sección de 4 m de anchura y gálibo 4 m.

Previo a la fase de excavación en mina se debe realizar una serie de tratamientos de mejora del terreno, que consiste en dos abanicos de inyecciones de fracturación practicados desde los pozos de emergencia, ejecutados antes del paso de la tuneladora, de modo que se consiga un paralelepípedo de suelo mejorado alrededor de la galería y del túnel. También se requiere un doble paraquas de micropilotes de protección en la zona de emboquille.

En este caso dadas las dimensiones de la galería la excavación será completa ejecutado con medios mecánicos. Previamente se debe sustentar las dovelas del túnel con un marco provisional metálico de cerchas HEB.

El sostenimiento se realizará con 30 cm de concreto lanzado de 30 MPa, doble mallazo de acero y cerchas metálicas HEB 160.

Tras el sostenimiento se colocará la capa de impermeabilización (geotextil de 250 gr/m² y lámina de PVC de 1,5 mm de espesor) con un tubo de drenaje a pie de los hastiales.

Por último, se colocará un revestimiento de 25 cm de espesor de concreto armado de 30 MPa

• En el Tramo IV, entre el 4+670 y el 4+700 se encuentra el paso bajo el cauce del río Molinos. Es un tramo de unos 30 m de longitud para cruzar bajo el cauce, dado que no se puede encajar un desvío provisional y además el procedimiento constructivo en este tramo es por medio de pantallas (cut and cover).

Se ha previsto la ejecución de los tratamientos desde los propios recintos de pantallas situados en ambos extremos del túnel en mina, en el 4+670 y en el 4+700, por medio de doble fila de paraguas de micropilotes de protección, columnas de Jet-Grouting 3 horizontales e inclinadas ejecutados de forma troncocónica desde la pantalla frontal.

La excavación se realizará en tres fases (avance, destroza y contrabóveda) y se ejecutará con medios mecánicos convencionales. La sección es de radio único en hastiales y bóveda (5,02 m) y la contrabóveda presenta un radio de 8,53 m.

Para el sostenimiento y la impermeabilización se ha previsto el mismo que el caso anterior.

El revestimiento consiste en una rosca de concreto de 40 cm de espesor y 30 MPa de resistencia característica. En principio se prevé una armadura mínima (50 Kg/m³) por consideraciones de comportamiento a largo plazo (degradación del sostenimiento, sismo, etc).

• En el Tramo IV, entre el 6+498 y el 6+533 se encuentra el paso bajo la estructura de la Calle 127. Es un tramo de unos 35 m de longitud para pasar por la fundación de la estructura. Para ello se ha previsto una actuación similar al tramo bajo el río Molinos.

3.13.6 Análisis de subsidencia y afecciones a edificaciones/estructuras

Para evaluar los daños y la protección a los edificios y/o a las estructuras que puedan verse afectados por la construcción del túnel en línea y las estaciones, se ha seguido un sistema de análisis que se desarrolla en varias fases.

En la primera fase se evalúa el estado actual de los edificios, asignando un coeficiente o grado de sensibilidad para cada uno, del cual se tendrá en cuenta el tipo de estructura, número de alturas, estado de conservación, funcionalidad, etc... Para ello se parte de un inventario de edificios realizado por el Consorcio L1 en base a la documentación facilitada por el IDU y otros organismos, así como por las inspecciones "in situ" llevadas a cabo por personal del Consorcio L1. Al final, se asigna a cada edificio analizado un grado de sensibilidad (que varía de Muy Baja a Alta) y un Factor de Seguridad (FS) variable entre 1 y 2. Se consideran que los edificios tienen un riesgo despreciable cuando se encuentren fuera de las líneas de asiento s= 10 mm/FS. Se ha elaborado una Ficha de sensibilidad para cada uno de los edificios analizados.

En una segunda fase se estima el asiento (subsidencia) que se genera como consecuencia de la excavación del túnel con tuneladora siguiendo la teoría de Peck (1969) y aplicando el método empírico del





Prof. Oteo y el Prof. Sagaseta (1996) y para la deformación del terreno en el trasdós de las pantallas se ha adaptado el método semiempírico del Prof. Oteo a las características de los suelos de la ciudad de Bogotá y a la rigidez de las pantallas previstas en la obra de la PLMB, las cuales estarán arriostradas por un "empotramiento" previo con jet-grouting.

Posteriormente, se aplica un criterio para evaluar y clasificar el riesgo de daños que puede sufrir el edificio. Para ello se aplica el Criterio de Boscardin & Cording (1989) tal como se exige en los Términos de Referencia.

Por último, se procede a diseñar –si es necesario- unos procedimientos adecuados para proteger las instalaciones afectadas con una intensidad de daños determinada, que se considera con un cierto nivel de riesgo o bien para reducir posibles asientos importantes o riesgo de socavones.

3.13.7 Tratamientos del terreno

La PLMB atraviesa suelos de baja compacidad y consistencia, con un elevado nivel freático. Ello hace que los propios sistemas constructivos requieran de medidas complementarias para garantizar la estabilidad durante la construcción. Se han diferenciado los tratamientos en dos clases:

- Tratamientos Tipo: aquellos cuyas características geométricas y mecánicas son semejantes en todos los caso de su aplicación. Se han diferenciado distintos tipos de tratamientos.
- Tratamientos Singulares. Serán aquellos cuyas características geométricas y/o mecánicas no se repiten y que por lo tanto se definirán para cada caso.

Definición de los Tratamientos tipo

Se han definido, dependiendo de la problemática, técnica utilizada y geometría del problema, los siguientes tratamientos Tipo:

Túnel con tuneladora. Tratamientos superficiales de clave.
 Su objetivo es asegurar la estabilidad (sin socavones) sobre la clave del túnel y reducir los asientos en superficie. A continuación se enumeran los tratamientos propuestos

- ✓ Tratamiento tipo TCJG1/TCJG3 mediante Columnas de Jet-Grouting ("Tienda Canadiense")
- ✓ Tratamiento tipo TCIF mediante Inyecciones de Fracturación ("Tienda Canadiense")
- ✓ Tratamiento tipo TIMC. Taladros de inyección de mortero en clave
- ✓ Tratamiento tipo TIM. Taladros cortos de inyección de mortero
- Túnel con tuneladora. Protección de edificios.

El objetivo de este tipo de tratamientos es 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). A continuación se enumeran los tratamientos propuestos.

- ✓ Tratamiento tipo BCJG1. Barrera de Columnas de Jet-Grouting.
- ✓ Tratamiento tipo BPM. Barrera de Pilotes de Mortero
- ✓ Tratamiento tipo BM. Barrera de Micropilotes
- Túnel entre pantallas. Protección de edificios.

El objetivo de este tipo de tratamientos es proteger a los edificios durante las fases de excavación de las pantallas. Se ha propuesto el siguiente tratamiento tipo:

✓ Tratamiento de Barrera de Micropilotes

Definición de los tratamientos de acceso/salida de la tuneladora en estaciones y pozos

Teniendo en cuenta los puntos de entrada y salida de las tuneladoras EPB, se han definido las consideraciones a tener en cuenta en el diseño de las estaciones afectadas y de los pozos de ataque afectados. En todas las estaciones y pozos, se ha previsto la ejecución de recintos impermeables (esclusas) en las entradas y salidas de la tuneladora, para evitar filtraciones de agua y arrastres de material.

A continuación se definen los puntos de entradas y salidas de las tuneladoras:

- T-1. ENTRADA: Estación Portal de las Américas. SALIDA: Estación Avda. 68
- T-2. ENTRADA: Pozo Parque Tercer Milenio. SALIDA: Estación Avda. 68
- T-3. ENTRADA: Pozo Parque Tercer Milenio. SALIDA: Estación Gran Colombia

Análisis con Flac3D de los tratamientos tipo





En el apartado "8.3 Análisis de los Tratamientos Tipo" del Producto 04, se ha realizado un estudio tensodeformacional del túnel para comprobar la eficacia de dichos tratamientos. La siguiente figura muestra un resumen de la eficacia en las cubetas de asientos aplicando los diferentes tratamientos.

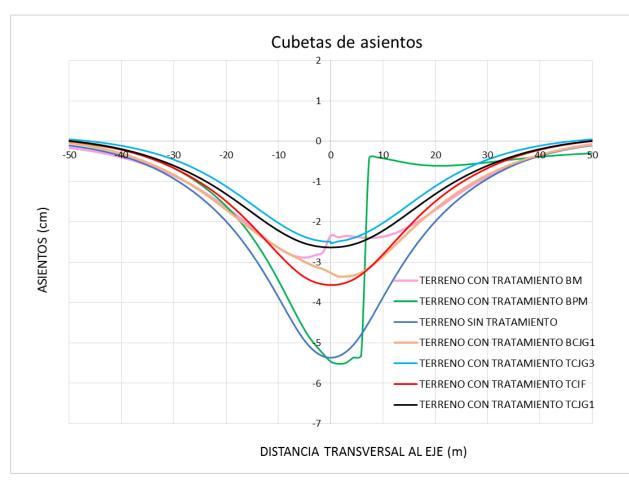


Figura 31.- Cubetas de asientos

Siendo:

- TCJG1: columnas de jet-grouting (jet 1) dispuestas en forma de "Tienda Canadiense"
- TCJG3: columnas de jet-grouting (jet 3) dispuestas en forma de "Tienda Canadiense"
- TCIF: inyecciones de fracturación dispuestas en forma de "Tienda Canadiense"
- BCJG1: barrera de columnas de jet-grouting (jet 1)
- BPM: barrera de pilotes de mortero
- BM: barrara de micropilotes

En la anterior figura se ha representado la cubeta de asientos que tiene lugar cuando la excavación del túnel se realiza sin ningún tratamiento del terreno. En dicho caso, los asientos máximos que se producen en la superficie son de 5,2 cm. Si comparamos esta cubeta de asientos con el resto, se extraen las siguientes conclusiones:

- En general, los asientos y distorsiones angulares máximos, en superficie, se reducen hasta valores admisibles para la calzada de las calles y las conducciones de los servicios, así como para edificaciones y estructuras en buen estado de conservación.
- Los tratamientos más eficaces son el BPM (barrera de pilotes de mortero) y el BM (barrera de micropilotes), ya que reducen los asientos en superficie en un 92% y 56% respectivamente.
- Los tratamientos de TCJG1, TCJG3 (columnas de jet-grouting tipo 1 y 3 dispuestas en forma de "Tienda Canadiense") y BCJG1 (barrera de columnas de jet-grouting tipo 1) tienen una menor efectividad que los anteriores, reduciendo los asientos en superficie en un 44%, 54% y 38% respectivamente e incrementando los factores de seguridad en un 30% (TCJG1) y en un 36% (TCJG3).
- Los tratamientos llevados a cabo con inyecciones de fracturación, TCIF ("Tienda Canadiense") son los menos efectivos, reduciendo los asientos en superficie en un 33% e incrementando el factor de seguridad en un 20%

Descripción de los tratamientos tipo y tratamientos singulares a lo largo del trazado de la PLMB

Dependiendo de la problemática, técnica utilizada y geometría del problema, se han definido los tratamientos Tipo y Singulares a aplicar a lo largo del trazado.



Análisis con Flac 3D de los tratamientos singulares

En el estudio se ha llevado a cabo un estudio tenso-deformacional del túnel en los siguientes puntos singulares:

- Puente de la Calle 26
- Estación de Transmilenio
- Paso bajo Río Molinos

Los resultados se resumen a continuación.

Puente Calle 26

El túnel discurre por debajo del Puente de la Calle 26, afectando a sus estribos y a sus pilares centrales (atraviesa los pilotes de diámetro 1 m y longitud 20 m, según los datos facilitados por el IDU). Debido a que se intercepta la cimentación de la estructura, se ha previsto en este punto un tratamiento singular, que consiste en:

En los estribos:

Se ejecutará una mejora del terreno mediante columnas de Jet-Grouting tipo 1 (BCJG1). Dicho tratamiento se ejecutará en una longitud de 10 m, es decir, 5 m por delante y 5 m por detrás de los barretes existentes desde la superficie hasta la parte inferior del túnel. El objetivo es asegurar la estabilidad sobre clave del túnel, y reducir la afección a la cimentación de los estribos. La efectividad del tratamiento tipo BCJG1 ha sido estudiada en el Apartado 8.5.1, en donde se comprueba que con dicho tratamiento se consiguen reducir los asientos hasta valores inferiores al milímetro.

En las pilas centrales:

- 4. Se procederá en primer lugar a un macizado de las pilas para que adquiera mayor rigidez el conjunto.
- 5. Se ejecutará un tratamiento en el terreno con columnas de Jet-Grouting tipo 1 (BCJG1) entre los pilotes y alrededor de los mismos.
- 6. Se ejecutará un zuncho y posteriormente se cortarán los pilotes centrales que interfieren con la tuneladora.

Los cálculos se han efectuado mediante el programa informático FLAC 3D en la sección central del puente, localizada en el PK 1+400 (Tramo III). En el apartado 8.5.1 se detallan los parámetros tenso-deformacionales utilizados en los cálculos y los resultados obtenidos.

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados obtenidos:

		Máximo	Valor	Observaciones
	Terreno	Desp. Vertical en superficie (mm)	0,28	Medido bajo la cimentacion del puente
	refreno	Desp. Horizontal en superficie (mm)	Despreciables	Medido bajo la cimentacion del puente
Puente Calle 26	Muro	Compresiones (MPa)	0,4	
Puente Cane 20	IVIUTO	Tracciones (MPa)	0,09	
	Movimientos túnel	Semiconvergencia Horiz (mm)	Despreciables	Inferiores al milimetro
	Movimientos tunei	Bajada de clave (mm)	Despreciables	Inferiores al milimetro

Tabla 36.- Resumen de resultados. Paso bajo el puente de la Calle 26

De los resultados se concluye que el tratamiento singular planteado es adecuado, ya que el "muro" (macizado de las pilas) es capaz de soportar las tensiones que se producen en su seno, como consecuencia de la excavación del túnel

Estación Transmilenio

El túnel en el Tramo III hasta la estación Gran Colombia está previsto ejecutarlo mediante tuneladora. En concreto en el subtramo de 500 m aproximadamente comprendido entre el 1+500 y el 2+000 discurre bajo la estación del TransMilenio.

La estación subterránea de Transmilenio se construyó deprimida de la superficie entre 6 m y 8 m, al abrigo de pantallas de 60 cm. Éstas tienen una profundidad entre 12 m y 15 m. (En el apéndice se incluyen los planos de detalle de dicha estructura).

Posee dos vestíbulos, con rampas de acceso donde la separación ente pantallas es máxima, del orden de 31 m, mientras que en el resto la separación es de unos 10 m.

La zona de los vestíbulos, la losa superior y la rampa de acceso posee una cimentación semiprofunda a base de barretes de 10 y 22 metros de profundidad.





El túnel en todo momento respeta una separación de un diámetro en vertical con respecto al pie de las pantallas y de 4 m en horizontal con respecto al barrete más profundo.

Para el análisis de la influencia de la ejecución del túnel en las pantallas de la estación se ha realizado una simulación mediante diferencias finitas con FLAC 3D en los siguientes tramos (en el apartado "8.5.2. Estación de Transmilenio" se detallan los resultados de los cálculos y las conclusiones.

- o 1+570-1+600
- 0 1+670-1+690
- 0 1+940-2+000

La figura adjunta muestra la verificación estructural flector-axil para los esfuerzos máximos de las pantallas concluyendo finalmente que los esfuerzos son muy inferiores a la capacidad estructural de las mismas.

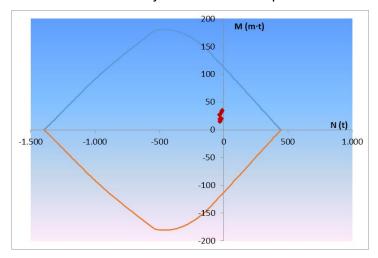


Figura 32.- Verificación estructural. Paso bajo Estación TransMilenio

Por lo tanto, la primera conclusión que se extrae del análisis es que la afección a la estructura de estación del Transmilenio por la ejecución del túnel es mínima a juzgar por los desplazamientos y las solicitaciones impuestas.

No obstante, ante cualquier evento accidental como un posible hundimiento o chimenea localizada, se considera que las pantallas, al ser unos elementos bidimensionales tendrán muy baja probabilidad de fallo, al contrario que los barretes, los cuales consisten en elementos individuales y susceptibles de verse arrastrados por la chimenea y provocar el fallo de la estructura que sostiene.

Por ello, se prevé un tratamiento de protección de los barretes de cimentación mediante la ejecución de barreras de columnas de jet grouting 1 (BCJG1), interpuestas entre el túnel y los barretes, en los tramos 1+665-1+710 y 1+860-1+905, coincidiendo con las zonas de los vestíbulos.

Paso bajo el Río Molinos

Entre los PKs 4+670 al 4+700 del Tramo IV, el túnel discurre por debajo del río Molinos y hay impedimentos importantes para que se ejecute un desvío provisional del cauce. Por este motivo, se ha previsto que la excavación se lleve a cabo mediante métodos convencionales. Se realizará en tres fases (avance, destroza y contraboveda). Además, previa excavación, el terreno deberá mejorarse tal y como se define a continuación:

- Ejecución de un paraguas de micropilotes de 20 m de longitud (150 mm de diámetro y 9 mm de espesor).
- Tratamiento de mejora de terreno con columnas de Jet-grouting. Se tratará toda el área de excavación del túnel más una corona de 2 m exterior al perfil teórico de excavación.

El sostenimiento del túnel este tramo (definido como el refuerzo provisional del terreno durante el tiempo de ejecución de la obra subterránea), consistirá en:

- una capa de concreto proyectado armado: de 30 MPa de resistencia, 30 cm de espesor y armado con un mallazo de 2 # 15 x15 x 6 mm
- cerchas HEB-160 cada 1 m

Mientras que el revestimiento (definido como el refuerzo definitivo o final que garantiza la estabilidad, la durabilidad y la adecuada funcionalidad de la obra subterránea a largo plazo), consistirá en:

Una capa de concreto armado: de 30 MPa de resistencia, 40 cm de espesor y armado

En el apartado "8.5.3.-Paso bajo el Río Molinos" del Producto 04 se presentan los resultados obtenidos de los cálculos con el FLAC 3D, cuando el túnel discurre por debajo del río Molinos. Se ha analizado el estado tenso-deformacional del túnel a corto plazo (durante la excavación) y a largo plazo (efectos sísmicos y subsidencias regionales).



La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados:

		Máximo	Valor	Observaciones
	Terreno	sp. Vertical en superficie (m	1,5	
	Terreno	p. Horizontal en superficie (r	0,2	
	Sostenimiento Concreto	Axil (KN)	45,8	Estos valores se corresponden con los máximos, no tienen
	30steriiiiilerito Concreto	Flector (KN*m)	0,271	porque ser concomitantes
Paso bajo el Río Molinos	Sostenimiento Cerchas	Axil (KN)	-3.2	Estos valores se corresponden con los máximos, no tienen
r aso bajo el Nio Mollilos	30steriiiiieiito cerciias	Flector (KN*m)	0.6	porque ser concomitantes
	Movimientos túnel	emiconvergencia Horiz (mm	Despreciables	Inferiores al milimetro
	Woviiiientos turier	Bajada de clave (mm)	Despreciables	Inferiores al milimetro
	Tensiones que soporta el cajon del río	Compresiones (MPa)	0,8	
	Terisiones que soporta el cajori del 110	Tracciones (MPa)	0,23	

Tabla 37.- Resumen de resultados. Paso bajo el río Molinos

De los resultados se concluye que el tratamiento singular planteado es adecuado, ya que

- el túnel, excavado mediante métodos convencionales, es capaz de soportar las tensiones que se producen en su seno, como consecuencia de la excavación.
- el río Molinos, es decir en la superficie, también son admisibles las compresiones y tracciones que se producen como consecuencia del paso del túnel.

3.13.8 Instalaciones de obra

Las instalaciones de obra contemplan dos grandes grupos:

- Planta de fabricación de dovelas
- Los equipos auxiliares de la tuneladora EPB

No se incluyen los equipos móviles y demás medios necesarios para los trabajos habituales de construcción, como puede ser la ejecución de pantallas, bombeos, drenaje, arquitectura,...

Para la planta de fabricación de dovelas se propone la fabricación de las dovelas en 3 plantas, 1 para cada tramo ejecutado con tuneladora. La planta se diseña para una fabricación de 10 anillos día en doble turno de 10 horas cada uno, con una producción de una dovela cada 10 minutos. De igual modo se contempla las características de fabricación de los moldes para las dovelas y una estimación para los plazos de fabricación, transporte y montaje.

Dentro de los equipos auxiliares se desarrollan las características principales de diversas instalaciones, elementos y equipos (cinta transportadora, plantas de mortero y de cal, equipos móviles para suministro de tuneladora, ventilación, puentes-grúas...) necesarios para el funcionamiento de la tuneladora EPB.

3.13.9 Pozo de ataque del Parque del Tercer Milenio

- Descripción

El Pozo de ataque de las tuneladoras se sitúa sobre el Parque del Tercer Milenio entre los PP.KK. 6+450 y 6+650 con una longitud total de 202,40 m entre pantallas y 200,00 m interiores. El ancho entre pantallas es de 20,80 m.

La rasante del Metro a lo largo del pozo se sitúa a una profundidad respecto al terreno natural de aproximadamente 18,50 m.

Las dimensiones en planta vienen impuestas de la necesidad de mantener unos accesos para maquinaria con unas dimensiones mínimas de 12,0 m de largo y 16,80 m de ancho, así como una longitud suficiente para disponer los equipos necesarios para ejecutar las obras del túnel.

El pozo consta de un total de 3 niveles que se describen a continuación:

- Losa de fondo de contrabóveda con la geometría necesaria para permitir la disposición de las tuneladoras. Está formada por una losa maciza de espesor 1,20 m y un radio interior de 19,50 m. La clave de la contrabóveda se sitúa a la cota -3,92 respecto a la cota de riel del Metro.
- Nivel intermedio de apuntalamientos formado por estampidores macizos de hormigón armado de 1,50x1,50 m y viga perimetral de 1,50x2,00 m en todo el contorno del pozo de ataque. Este nivel resulta necesario estructuralmente como apuntalamiento entre pantallas. La cota superior de este nivel de apuntalamiento se sitúa a la cota +9,78 permitiendo el gálibo necesario entre dicho nivel y la contrabóveda para el paso de la tuneladora.
- Nivel superior de apuntalamientos formados por estampidores macizos de hormigón armado de 3,00x1,50 m y viga perimetral de 1,50x2,00 m en todo el contorno del pozo de ataque. Tras la ejecución del túnel se procederá a la cubrición del pozo de ataque disponiendo una cubierta apoyada en este nivel de estampidores. La cubierta consta de vigas prefabricadas en obra que se apoyan en los estampidores. Entre las vigas se dispone de una losa de hormigón armado de 0,25





m de espesor. El apoyo de este nivel de apuntalamiento se realiza a media madera sobre las pantallas y su cota superior es la 15,49.

- Proceso constructivo

Debido a la necesidad de limitar las deformaciones durante el proceso constructivo y la presencia de nivel freático elevado, el método Cut&Cover dirección Top-Down es la solución adoptada para la excavación.

Está prevista una excavación profunda hasta el nivel inferior del pozo, previa ejecución de los niveles de apuntalamiento que servirán de acodalamientos.

Finalmente se ejecuta la losa de fondo, que con las anteriores conforman los codales definitivos de la estructura.

Como consecuencia de la presencia del nivel freático y de la necesidad de limitar las deformaciones, se ha considerado disponer de un tapón de jet grouting bajo la losa de fondo en todas las estaciones.

La profundidad del pozo se ajusta al trazado en alzado de la línea, de modo que la cota de riel para esta se encuentra entre la +2.561,594 en el p.k 6,450 y la +2.566,394 en el p.k. 6+650.

A continuación se describen los distintos elementos que forman parte del pozo.

- Pantallas perimetrales

El perímetro del pozo se ejecuta con pantallas continuas de concreto armado de 120 cm de espesor, cuyas funciones son las siguientes:

- Contención de tierras evitando la afección a las edificaciones próximas
- Apoyo perimetral de los distintos niveles
- Mantenimiento de un perímetro impermeable.

Losa de cubierta

La losa de cubierta se configura mediante vigas prefabricadas en obra con losa "in situ" sobre placas nervadas. Las vigas van colocadas en la dirección longitudinal del pozo de ataque, y se apoyan mediante neoprenos en las vigas transversales del primer nivel de estampidores, que están separadas entre ejes 13,50 m; son de concreto armado con sección de 0,80 m de ancho y 1,00 m de canto. La losa tiene un

espesor de 0,25 m y se hormigona "in situ" sobre un encofrado constituido por placas nervadas apoyadas en las vigas.

La cara superior de la losa se sitúa enterrada un valor aproximado de 1,00 m por debajo de la urbanización proyectada, siguiendo por lo tanto la pendiente del vial superior.

La elección de esta tipología de losa in situ sobre vigas prefabricadas responde a la necesidad de mantener abierto el acceso al pozo de ataque durante la fase de construcción.

Estampidores intermedios

Por necesidades estructurales en el cálculo de las pantallas ha sido necesario disponer de dos niveles de estampidores intermedios de hormigón armado.

Los estampidores tienen una sección de 1,50x1,50 m en el nivel inferior, y de 3,00x1,50 m en el nivel superior.

Además de los estampidores con objeto de transmitir adecuadamente las cargas a las pantallas se disponen vigas perimetrales de dimensiones 1,50x2,00 m.

Losa de fondo

La losa de fondo está formada por una contrabóveda de concreto armado de espesor 1,20 m y radio exterior 20,70 m.

Se ha optado por una solución en contrabóveda debido a la importante carga de subpresión, a la necesidad de respetar los gálibos verticales de la tuneladora y a la luz entre apoyos.

Tapón de jet grouting

Se ha definido un tapón de jet-grouting bajo la cota máxima de excavación con objeto de resolver los siguientes condicionantes:

- Debido a la alta permeabilidad del terreno bajo la cota máxima de excavación así como que el nivel freático se encuentra muy superficial no se puede asegurar la impermeabilidad del vaso durante la





construcción. Mediante un tapón de jet-grouting continuo se asegura la impermeabilidad durante la ejecución.

- Las malas características geotécnicas del terreno en el que se va a situar el pozo dan lugar a que se produzcan en las pantallas deformaciones excesivas. El tapón de jet-grouting bajo la cota máxima de excavación da lugar a un puntal rígido que permite el control de las deformaciones de las pantallas dentro de unos límites aceptables.
- Al disponerse el tapón entre pantallas bajo el pozo formando un puntal, las cargas verticales se transmiten por rozamiento al tapón de jet-grouting, funcionando éste como una losa rígida de cimentación.

El tapón de jet-grouting se ejecutará directamente desde el nivel de cubierta antes de realizar el nivel superior.

Accesos al pozo de ataque

Debido al sistema constructivo empleado de extracción de tierras vertical no ha resultado necesario definir accesos específicos al pozo de ataque.

3.13.10 Instalaciones no ferroviarias

- Evacuación y protección contra incendios

De forma general se plantea la solución de evacuación de túnel en base a lo especificado en el standard NFPA-130. Según la solución adoptada con puerta frontal en los trenes, toda la sección de túnel puede ser empleada para evacuar, disponiéndose además de aceras laterales de ancho mínimo 0,7 m. La evacuación se conduce hasta las diferentes salidas de emergencia ubicadas tanto en el acceso a las propias estaciones como en núcleos de evacuación intermedios en los casos en los que sean necesarios por longitud de los propios recorridos de evacuación.

Para la extinción del espacio túnel, se dispone de un sistema de extinción "Standpipe" realizado según NFPA-14 y NTC-1669. El citado sistema es de tipo húmedo y se abastece desde grupos de presión situados en las salas técnicas de estaciones. Como medios de extinción se dispondrá de gabinetes de tipo – 1 dispuestos cada 90 metros en ambos lados del túnel.

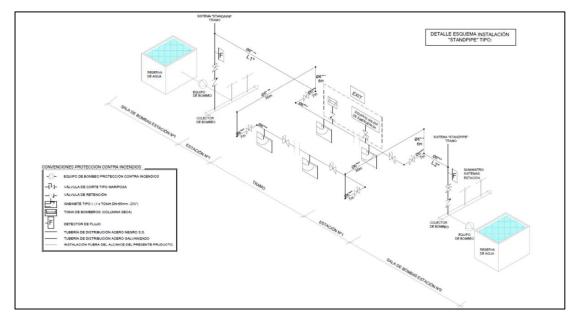


Figura 33.- Red de distribución de tubería sistema "Standpipe"

De forma complementaria, se dispondrá también de un sistema de detección de incendios mediante cable lineal, ubicado en la clave del túnel y cuyas unidades de control se localizarán en las salas de técnicas de estaciones. El citado sistema se integrará en el sistema de detección de incendios.

Ventilación

La ventilación de la línea persigue el doble objetivo de controlar las condiciones ambientales del interior de los túneles durante el funcionamiento normal de la línea y, en caso de incendio, expulsar los humos manteniendo un recorrido de evacuación seguro. Para ello se utilizan dos sistemas:

- Sistema principal de ventilación.
- Sistemas de extracción en andén.

El sistema principal de ventilación se basa en la utilización de pozos de ventilación ubicados en los extremos de cada estación.





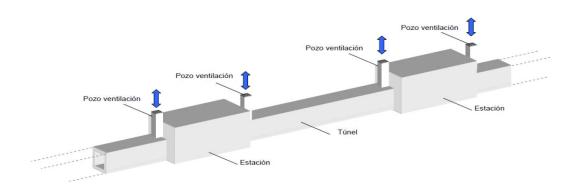


Figura 34.- Esquema general de la posición de los pozos de ventilación

Estos elementos permiten unir de forma directa el exterior con el interior del túnel, y por su ubicación, establecen una separación entre las corrientes de aire en el túnel y en las estaciones. Cada pozo está equipado con ventiladores axiales reversibles de gran potencia que permiten tanto extraer aire caliente o contaminado del túnel como introducir aire fresco. Su diseño incluye un by-pass a los ventiladores de manera que puedan funcionar como pozos de compensación, y aprovechar de esta manera las corrientes de aire generadas por los propios vehículos para renovar el aire interior.

Por otro lado, en el recorrido de los trenes a la altura de las estaciones, se ubican dos sistemas de extracción de calor:

- Sistema de extracción sobre los vehículos: Over Track Exhaust (OTE)
- Sistema de inyección bajo los vehículos: Under Platform Exhaust (UPE)

Su finalidad es evacuar el calor emitido por los trenes debido al frenado y aceleración (bajo el andén) y por los equipos de aire acondicionado de los vagones (sobre los vehículos). Ambos sistemas consisten en conductos de extracción longitudinales a lo largo del tramo de vías en estación.

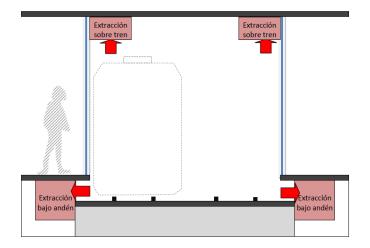


Figura 35.- Esquema general de la posición de los sistemas de extracción en estación

Instalación eléctrica

La alimentación eléctrica de las instalaciones del túnel partirá desde los paneles eléctricos principales de las estaciones. En este sentido los transformadores y los equipos UPS de las estaciones estarán dimensionados para la previsión de potencia tanto de la estación como del túnel.

El alcance de las instalaciones eléctricas en túnel será el siguiente:

- Acometidas en baja tensión desde los tableros de la estación TGBT-1 hasta los armarios de variadores de velocidad de los ventiladores de túnel (VV1, VV2, VV3 y VV4) y hasta los tableros de ventilación (SN-TVT).
- Tableros de ventilación (SN-TVT) en baja tensión III 480 V; para la alimentación de los ventiladores de OTE/UPE y las compuertas de ventilación motorizadas.
- Variadores de velocidad, para la alimentación a los ventiladores de túnel.
- Líneas de distribución de baja tensión desde los armarios de variador de velocidad y desde los tableros de túnel hasta receptores.
- Canalizaciones y material de instalación necesario para los tendidos de las acometidas a armarios de variador de velocidad y a tableros de túnel, así como para el tendido desde estos armarios y tableros a receptores.
- Acometidas en baja tensión desde los tableros de la estación TGC-2, que a su vez esta alimentado desde UPS, hasta los tableros de fuerza y alumbrado de túnel (SC-TGCT).





- Tableros de fuerza y alumbrado de túnel (SC-TGCT) en baja tensión III+N 208/120 V; para la alimentación del alumbrado permanente y de evacuación, tomas de corriente y demás equipos en el interior del túnel.
- Instalación de tomas de corriente en el interior del túnel.
- Canalizaciones y material de instalación necesario para los tendidos de las líneas a alumbrado, fuerza y equipos en el interior del túnel

Para la alimentación de las instalaciones del túnel se prevé la instalación de los siguientes Tableros eléctricos:

- Variador de Velocidad de Ventilador Túnel: Se prevé la instalación de cuatro variadores de velocidad para alimentar los correspondientes ventiladores en cada estación.
- Tablero de Ventilación de Túnel (SN-TVT): Se prevé la instalación de dos tableros tipo SN-TVT en cada estación, ubicados en las salas de ventilación situadas una en cada extremo de la estación.
- Tablero de Alumbrado y Fuerza de Túnel (SC-TGCT): Se prevé la instalación de dos tableros tipo SC-TGCT en cada estación, situados en nivel andén en las bocas del túnel. Desde cada tablero se alimentara a la mitad del túnel adyacente.

En el interior del túnel se prevé la instalación de tomas corriente para labores de mantenimiento. Se preverán las siguientes tomas:

- Una tomacorriente monofásica estanca IP65, 2P+T, 20A, 120V.
- Una tomacorriente trifásica estanca IP65, 3P+T, 20A, 208V

Estas tomas se instalaran coincidiendo con la posición de las BIEs (Bocas de Incendio Equipadas), aproximadamente cada 90 metros y en ambos lados del túnel, de forma alterna.

En el interior del túnel el cableado discurrirá en bandejas metálicas con tapa ciega. Se tenderá una bandeja por cada lado del túnel para alojar las líneas de alumbrado y fuerza.

En bajadas y conexiones a receptores se utilizará tubos metálicos en montaje superficial. Los tubos en el interior del túnel serán metálicos, tipo conduit IMC, con elementos roscados y estarán conectados a tierra.

Se prevé la instalación de un cable de cobre desnudo calibre 4/0 AWG por el interior del túnel para la unión de las puestas a tierras de las estaciones. Se tenderá un cable por hastial, discurriendo por las bandejas de baja tensión del túnel. Este cable se conectará a las mallas de tierra de cada estación por medio de barras equipotenciales, de forma que se cree una red de tierras "global" para toda de línea de metro, quedando todas las mallas de tierras de las estaciones conectadas entre sí.

Alumbrado

En el interior del túnel se dispondrán dos tipos de alumbrado: alumbrado permanente y alumbrado de evacuación.

El alumbrado permanente proporcionará un nivel de iluminación mínimo de 2,7 lux a nivel de suelo, haciendo las veces de alumbrado antipánico o de emergencia. El alumbrado de evacuación estará normalmente apagado, accionándose en caso de emergencia o por necesidades de mantenimiento mediante el sistema de gestión centralizado y mediante pulsadores locales; proporcionando unido al alumbrado permanente un nivel mínimo de iluminación de 20 lux a nivel de suelo.

Los circuitos de alumbrado de evacuación dispondrán de contactores en los tableros comandados desde la central de control y desde los pulsadores locales.

En cada tablero de Alumbrado y Fuerza del túnel (SC-TGCT) se preverán circuitos independientes para la alimentación de las luminarias permanentes y para las luminarias de evacuación. Se tenderán ambos circuitos por ambos lados del túnel. Para el accionamiento local de las luminarias de evacuación se preverán pulsadores ubicados coincidiendo con la posición de las BIEs aproximadamente cada 90 metros.

3.13.11 Salidas de emergencia

Se construirán salidas de emergencias entre las estaciones de la PLMB para conseguir una correcta y segura evacuación de las personas en caso de incendio.

Después de estudiar el trazado de la PLMB y aplicar el criterio de la NFPA 130 (distancia máxima entre salidas de emergencia dentro del túnel de 762 m), se consideran 12 salidas de emergencia a lo largo de toda la línea.





Se han definido tres tipos de salidas de emergencia:

- Tipo 1: Salida de emergencia tipo en túnel con tuneladora.
- Tipo 2: Salida de emergencia tipo en túnel entre pantallas.
- Tipo 3: Salida de emergencia especial.

Las ubicaciones y tipo de las salidas de emergencia son las siguientes:

		SALIDAS DE	E EMERGENCIA	Α	
TRAMO TRAZADO	SALIDA DE EMERGENCIA	P.K. en el tramo	P.K. absoluto	TIPO	TRAMO PRESUPUESTO
1	SE1	4+810	4+810,000	TÚNEL	TRAMO B.5
2	SE2	0+950	7+617,442	TÚNEL	TRAMO C.1
2	SE3	2+265	8+932,442	TÚNEL	TRAMO C.2
2	SE4	3+745	10+412,442	TÚNEL	TRAMO C.3
2	SE5	6+495	13+162,442	TÚNEL	TRAMO C.6
3	SE6	1+954	15+950,735	ESPECIAL	TRAMO D.4
3	SE7	6+054	20+051,042	PANTALLA	TRAMO E.4
4	SE8	1+090	21+252,873	PANTALLA	TRAMO E.5
4	SE9	2+140	22+302,873	PANTALLA	TRAMO E.6
4	SE10	4+250	24+412,873	PANTALLA	TRAMO E.8
4	SE11	5+448	25+610,873	PANTALLA	TRAMO E.9
5	SE12	6+790	26+952,873	PANTALLA	TRAMO E.10

Tabla 38. Ubicación salidas de emergencia

Todas las salidas diseñadas cumplen con los siguientes objetivos:

- Todos los diseños cumplen con las buenas prácticas de ingeniería y arquitectura.
- El diseño de las salidas ha sido adaptado a la solución de trazado más adecuada.
- El diseño propuesto permite el acceso de los evacuados a superficie de manera segura y cuenta con espacio disponible en el exterior para la posible instalación de campamentos móviles.
- El diseño de las salidas tiene como objetivo minimizar y simplificar los recorridos de evacuación del túnel. Los recorridos son claros e intuitivos, de fácil comprensión por parte del usuario.

- El acceso a las salidas se efectúa directamente desde las vías del tren. Cualquier rampa que sea necesaria para salvar desniveles tiene, en todos los casos, una pendiente adecuada para personas de movilidad reducida (PMR).
- Todas las salidas dispondrán de áreas de refugio en el vestíbulo de independencia para que las PMR puedan permanecer de manera segura.
- Todas las salidas de emergencia contarán con vestíbulos de independencia sobrepresionados para evitar la entrada de humo desde el túnel.
- A lo largo del túnel existirá señalización, para la fácil orientación del usuario, sobre la ubicación de las salidas.
- La salida al exterior se realizará mediante la apertura de una tapa metálica hidráulica.
- Las salidas de emergencia tendrán señalización retroiluminada, según se establece en el estándar NFPA-101.
- Las características principales de las salidas de emergencia son las siguientes:
 - Las salidas son laterales
 - Escaleras de comunicación desde el túnel a superficie
 - Existe un nivel de transición entre el túnel y la salida a superficie
 - o El espacio para instalaciones se ubica en el centro de la salida, a cota de la planta alta
- Las características de los materiales serán las siguientes:
 - o Todas las paredes deberán ser de un material estructuralmente estable y resistente al fuego
 - Para solucionar problemas de humedad producidos por filtraciones en los muros pantalla, se ancla a la pantalla un muro de concreto para evitar dichos problemas de humedades o filtraciones tal como se hace en las estaciones
 - Los revestimientos serán de pañete liso de 1.5 cm y pintura epóxica
 - En general, todos los cerramientos y divisiones interiores de las salidas se ejecutarán con bloque de concreto o de termoarcilla de 20 cm de espesor con resistencia al fuego 2 horas
 - o Los peldaños de las escaleras contarán con una tira de material antideslizante
 - El pavimento de las salidas de emergencia se hará con un recrecido de mortero autonivelante de 3 cm, cemento adhesivo de 1 cm y suelo cerámico antideslizante de 60x120x1cm





- Todas las salidas contarán con:
 - Instalación eléctrica alimentada desde el Tablero General de Servicios Críticos-2 (TGC-2)
 de la estación más cercana
 - o Alumbrado normal y alumbrado de emergencia con baterías autónomas
 - Sistema de evacuación de agua para recoger la posible entrada de agua desde el exterior.
 - Sistema de extinción de incendios
 - Sobrepresión del vestíbulo anterior a las escaleras con el objetivo de mantener las vías de escape libres de humos
 - Telecontrol desde el PCC

3.13.12 Impermeabilización

La impermeabilización tiene por finalidad reducir en lo posible la entrada de agua al túnel y para el resto, captarla y conducir las filtraciones residuales hasta los conductos de drenaje para finalmente, mediante bombeo, introducirlas a la red de superficie. Dependiendo de los procedimientos constructivos, se ha diseñado un sistema de impermeabilización.

Para el túnel con tuneladora, la impermeabilización primaria consistirá en el relleno del GAP existente entre el terreno y las dovelas, el cual se rellenará mediante productos tales como mortero, lechadas de cemento y/o resinas bicomponentes.

Para las filtraciones que atraviesen la impermeabilización primaria (Relleno de GAP) se ha previsto una impermeabilización principal consistente en una doble barrera dispuesta en las juntas una junta tipo DV3 y un cordón expansivo.

En el caso de túnel entre pantallas, considerando los módulos de hormigón como impermeables, la posible filtración de agua procedente del terreno se sitúa en las juntas de cada módulo. Adicionalmente se prevé un forro de hormigón continuo cosido a las pantallas, para sellado general.

El tipo de junta y sus elementos se encuentran definidos en los planos.

Las filtraciones residuales existentes debidas a una mala ejecución o defectos de las juntas se recogerán en la cara interior de la pantalla donde mediante canaletas se derivarán al drenaje de superficie como en el caso anterior.

Por último, en el caso de túnel por medios convencionales, la impermeabilización prevista no será visible y estará colocada entre el sostenimiento y el revestimiento. La impermeabilización principal consistirá en la colocación de láminas plásticas cubriendo la totalidad de la sección y en toda la longitud del túnel. Terminará en los muretes de pie del sostenimiento definitivo que soportarán los conductos de drenaje laterales de la impermeabilización y llevarán incorporadas las conexiones ordinarias de estos tubos con el drenaje principal de la solera, a distancias regulares de 20 m.

Las láminas de impermeabilización serán de tipo sintético, cloruro de polivinilo (PVC), soldables por termofusión, de 1,5-2,0 mm de espesor con una densidad del orden de 2 kg/m².

Las láminas de protección serán tipo geotextil poroso y permeable con gramaje mínimo de 250 g/m².

3.13.13 Hidrogeología

El objetivo del modelo realizado es estimar las afecciones producidas por la construcción de la PLMB a los niveles piezométricos y para ello se incorpora al modelo toda la información disponible sobre los acuíferos y a su vez, se añade la información de detalle obtenida por el propio Proyecto de la PLMB para estimar la afección.

El modelo realizado se ha basado en tres tipos de datos.

- Información muy detallada a lo largo del trazado de la PLMB prevista, obtenida en los sondeos y estudios realizados por el Proyecto.
- Información de las isobatas de formaciones menos detallada que la anterior pero suficiente, en una franja de unos 1.000 m de ancho situada sobre el trazado y plasmada en perfiles transversales estimados por el Proyecto.
- Información de carácter general y, en ocasiones, contradictoria, procedente de la bibliografía.





Con esta información se montó un modelo de flujo tridimensional en régimen permanente, con ancho de malla de 100 m en los alrededores del trazado, que se ajustó comparando los niveles piezométricos calculados con los registrados en los sondeos realizados a lo largo del trazado.

En relación con la afección de la obra es significativa en algunas zonas singulares del Tramo III porque a lo largo de él la PLMB cortará al flujo casi perpendicularmente en la zona de mayor recarga entrante desde los Cerros Orientales. Se concentra en unas pocas zonas donde concurren varias circunstancias desfavorables que dificultan el desvío del flujo hacia las capas inferiores para superar la obstrucción provocada por la PLMB:

- Zonas de pantalla o estaciones, donde se produce una barrera subterránea de 40 m a partir de la superficie del terreno que no permite el paso del agua por encima de la obra, como sucede en los tramos de túnel.
- Zonas donde el caudal circulante por la zona del trazado es grande por tener recarga elevada primeros kilómetros del Tramo III—
- Zonas donde la Formación Bogotá está cerca de la superficie del terreno. Su baja permeabilidad disminuye la transmisividad global del paquete subyacente a la PLMB generando gradientes elevados al desviar el flujo hacia abajo, y por tanto, sobreelevaciones significativas

El modelo desarrollado no puede proporcionar más información sobre las afecciones previsibles que, como se ha dicho en las conclusiones, sólo se podrían mejorar con mejor conocimiento del funcionamiento de los acuíferos, imposible de adquirir a corto plazo. No obstante, en el Proyecto se ha contemplado una serie de medidas paliativas previstas de cara a evitar la sobreelevación del nivel freático aguas arriba y descenso aguas abajo en los Tramos III y final del II.

3.13.14 Seguridad y salud

Respecto a la Seguridad y Salud durante la ejecución de la Obra, se han analizado las principales actividades a desarrollar, principalmente en lo referente al método de ejecución del túnel mediante Tuneladora y Cut and Cover, con expresión de los riesgos detectables más comunes, y en base a ellos, las medidas preventivas a aplicar.

Respecto a los riesgos específicos en relación con el Ruido y Vibraciones que se generen durante los trabajos de ejecución del túnel se han estudiado tanto sus efectos sobre el cuerpo humano como las medidas de prevención y control, encaminadas a evitar o reducir la exposición a dichos agentes.

Así mismo, y ante la detección de pequeñas proporciones de qas metano en determinados tramos del trazado, se han considerado los aspectos preventivos, y medidas paliativas a tener en cuenta, ante los graves riesgos que su presencia pudiera provocar.

Por último, se ha relacionado la normativa básica Colombiana sobre construcción a aplicar, y en lo que no contravenga a la misma, la normativa Española traspuesta de la Legislación Europea sobre seguridad en la construcción.

3.13.15 Inventario de edificaciones

En este capítulo se definen las estructuras civiles y las edificaciones presentes en el área de influencia. Para la elaboración del inventario, se definió una franja de afección predial de 40 m a cada lado del eje del trazado de la PLMB y en el caso de las estaciones, accesos o interconexiones, la franja se amplió de acuerdo con el área de afectación.

Para el desarrollo de este capítulo, se concertaron reuniones entre diferentes entidades y el Consorcio L1, para revisar la información disponible que fue de interés para el trabajo de inventario de edificaciones y estructuras. Las empresas de las cuales se obtuvo información fueron:

- Instituto de Desarrollo Urbano IDU
- Secretaria Distrital de Planeación SDP
- Unidad Especial Administrativa de Catastro Distrital UEACD
- Instituto Distrital de Patrimonio Cultural IDPC
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB

Posteriormente se adquirió información de las siguientes entidades:

- IDPC: Decreto 606 del 2001, decreto 678 de 1994, fichas de Patrimonios por UPZ
- Ministerio de Cultura: Base Excel de patrimonios Nacionales en Bogotá
- UAECD: Geodata base de predios catastrales.
- Fondo de Vigilancia y Seguridad: Planos de CAI y Estación Teusaquillo



- Transmilenio: Tipología de estaciones y túnel peatonal
- IDU: Información de Puentes vehiculares, peatonales, pontones.

Finalmente, el IDU suministró una base con diferentes datos de edificaciones como son: Año de construcción, Chip Catastral, Direcciones de Predios, ID del Lote predial, Construcciones, los cuales se complementaron con la información recibida por parte de la UAECD.

Se realizó el análisis de las estructuras civiles y edificaciones presentes en el área de influencia, de acuerdo con los siguientes archivos:

- Secretaria de Planeación Distrital: se evaluó lo referente a bienes inmuebles, monumentos o estructuras que son considerados patrimonio Distrital o Nacional, edificaciones que son de equipamiento institucional, educativo, de salud, recreativo, etc. Adicionalmente, se realizó una investigación de carpetas de predios a fin de conocer datos técnicos de las edificaciones como: constructor, año de construcción, tipo y cota de cimentación entre otros.
- EAAB: se tuvo en cuenta la información suministrada sobre estructuras hidráulicas como canales,
 ríos, Box Culvert que se encuentran o intersectan la franja de subsidencia señalada.
- IDU: se evaluó la información (planos, formatos sheape) de puentes, pontones, Box Culvert.
- IDPC: se evaluaron las fichas disponibles sobre los patrimonios que se encuentran en la franja de afección de la PLMB.

Luego del análisis de la información, se realizaron las plantas de situación, con base a los planos cartográficos de la UAECD. Finalmente se efectuó el ensamble de información recolectada en el archivo de la Secretaria Distrital de Planeación y se elaboraron los planos generales del trazado.

Los trabajos de levantamiento y toma de datos en campo, se realizaron con base en la información suministrada por el cliente y las entidades de servicios públicos, con lo cual se realizó el registro fotográfico y se verifico cada edificación y estructura en sitio.

3.14 Estaciones

Se proyectan un total de 27 estaciones, de las cuales 10 son de tipo intermodal o especiales, por tener conexiones con otros sistemas de transporte como TransMilenio, Tren de Cercanías o estaciones de autobuses. Las estaciones se han diseñado para que sean funcionales, de fácil uso y comprensión, espaciosas y luminosas, sostenibles ambientalmente y con un mínimo consumo energético. Disponen de un sistema de climatización natural, sin aporte térmico. Los materiales son de alta durabilidad, bajo mantenimiento y antivandálicos. Todas las estaciones son totalmente accesibles y adaptadas para las personas con movilidad reducida (PMR), disponen de escaleras peatonales, escaleras mecánicas de subida y bajada y ascensores.

Todas estaciones de la PLMB dispondrán de las instalaciones necesarias, con los niveles de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad adecuados, para conseguir la prestación de un servicio de transporte de viajeros de calidad. Dispondrán de instalaciones eléctricas, iluminación, ventilación y climatización, escaleras mecánicas, ascensores, pasillos móviles, instalación hidrosanitaria y protección contra incendios.

3.14.1 Estructuras de las estaciones

Descripción general de la estructura de las estaciones

La geometría de las estructuras de las estaciones viene condicionada en gran parte por el proceso constructivo empleado en las estaciones así como en los túneles adyacentes.

Las estructuras de las estaciones se componen de muros pantalla perimetrales que definen el gálibo interior, entre los cuales se realizan varios niveles de apuntalamientos.

La profundidad máxima de excavación en las estaciones tipo más profundas, que se produce en la cara inferior de la losa de fondo, se sitúa a la cota aproximada -24,50 m.

Estación tipo en tramos con tuneladora

La estación tiene unas dimensiones exteriores en planta de 208,20 m en sentido longitudinal y de 20,80 m ó 30,70 m en sentido transversal a la dirección de las vías.





La profundidad máxima de excavación, que se produce en la clave de la contrabóveda, se sitúa en la cota aproximada -23,90 m, con una profundidad de las vías de -19,20 m y los andenes a 1,10 m por encima.

- Estación tipo en tramos de túnel entre pantallas

En los tramos en los que se realiza túnel entre pantallas, las estaciones se implementarán en un nivel más superficial, sin la necesidad de disponer un trazado a gran profundidad a causa del recubrimiento mínimo de terreno sobre la tuneladora.

Con una geometría similar en planta a la estación tipo túnel, se presentan las siguientes diferencias:

- Rasante del trazado más superficial.
- Eliminación de un nivel de apuntalamientos (prevestíbulo).
- No es necesario disponer esclusas en los extremos de las estaciones.

La profundidad máxima de excavación, que se produce en la losa inferior que se sitúa a la cota aproximada -18,50 m con una profundidad de las vías de -15,70 m y los andenes a 1,10 m por encima.

- Elementos estructurales de las estaciones

Los elementos estructurales que dan lugar a la estación son los siguientes:

Pantallas perimetrales

La estación se construye mediante el método de cut&cover, conformando el perímetro mediante pantallas de hormigón armado de 1,20 m de espesor.

Sus funciones estructurales son la contención de tierras, recoger las cargas verticales de las losas, apuntalamientos y subpresión y colaborar mediante rozamiento por fuste a asegurar la no flotabilidad del conjunto y será uno de los elementos principales de las estaciones.

Con objeto de reducir las deformaciones durante las fases de excavación, desde superficie se ejecutará un tapón de jet-grouting situado por debajo de la futura contrabóveda.

Pilas-pantalla

En las estaciones tipo T1, de mayor ancho que el resto de estaciones resulta necesario disponer apoyos intermedios materializados por pilas-pantalla con objeto de que acorten la luz de las losas.

Sobre estos pilares apoyan todas las losas, desde la superior hasta la contrabóveda y se ejecutan en la misma fase que las pantallas desde superficie. El apoyo de estas pilas se realiza sobre módulos pantalla.

La sección de las pilas es rectangular de 0,60 m de lado, con sección compuesta por un tubo exterior metálico relleno de concreto reforzado. Las conexiones con cada una de las losas se realizan mediante elementos metálicos soldados a las pilas.

Losa superior

A continuación de las pantallas se ejecuta la losa superior. La construcción de esta losa se realiza directamente sobre el terreno y se conecta con las pantallas mediante las esperas dispuestas en las pantallas y al descabece de su parte superior. En función de la anchura del vial bajo el que se sitúa la losa ésta se ejecutará en una o dos fases para permitir en lo posible el tráfico durante las obras. La sección trasversal de la losa es de concreto reforzado.

La losa de cubierta se sitúa bajo un relleno de una altura máxima aproximada de 1,50 m incluyendo pavimento bajo los viales con objeto de permitir el paso de redes urbanas sobre la misma.

El funcionamiento de la losa es de viga biapoyada. Además de como soporte del vial superior la losa funciona como puntal entre pantallas. Una vez terminada su ejecución será posible la excavación del túnel de la estación.

Nivel de prevestíbulo

El prevestíbulo, presente en las estaciones tipo T1t y T2t, está formado por vigas de concreto reforzado dispuestas cada 6,00 m sobre las que se sitúa una losa de concreto reforzado en las zonas destinadas al paso de viajeros o de instalaciones.

La función del nivel de prevestíbulo además de servir como nivel útil de la estación es el de apuntalar la pantalla. Para transmitir las cargas de las pantallas en las vigas de prevestíbulo se disponen vigas





perimetrales de concreto reforzado de espesor variable en función de la separación entre vigas de prevestíbulo.

La ejecución del nivel de prevestíbulo se realiza directamente sobre el terreno, una vez terminada la excavación.

Nivel de vestíbulo

El vestíbulo es el siguiente nivel de apuntalamiento y está formado por vigas de concreto reforzado dispuestas cada 6,00 m sobre las que se sitúa una losa de concreto reforzado en las zonas destinadas al paso de viajeros o de instalaciones (de forma similar al nivel de prevestíbulo).

La función del nivel de vestíbulo además de servir como nivel útil de la estación es el de apuntalar la pantalla. Para transmitir las cargas de las pantallas en las vigas de vestíbulo se disponen vigas perimetrales de concreto reforzado de espesor variable en función de la separación entre vigas de vestíbulo.

El nivel de vestíbulo, en aquellas estaciones situadas entre tramos de túnel con tuneladora, intercede con el gálibo necesario para el traslado de la tuneladora que ejecuta el túnel a su paso por las estaciones. Es por ello que este nivel no se ejecuta sobre el terreno inferior de forma previa a su excavación, sino que se realiza una vez ejecutada toda la excavación, la contrabóveda inferior y el paso de la tuneladora mediante cimbra apoyada en la contrabóveda.

Debido a que no es posible disponer de este puntal entre pantallas durante la ejecución del túnel resulta necesario situar puntales provisionales sobre el gálibo de paso de la tuneladora. De forma posterior al paso de la tuneladora y a la ejecución del nivel de vestíbulo este puntal provisional metálico se retirará, transmitiendo sus cargas a los niveles adyacentes de puntales de vestíbulo y prevestíbulo.

Losa inferior o contrabóveda

La geometría de la losa viene condicionada por el paso de la tuneladora por la estación en su caso. Dependiendo de las condiciones de paso de tuneladora, de subpresión, de apoyos intermedios entre pilares etc., se ha optado por una solución en contrabóveda que permite el paso de la tuneladora y es capaz de resistir grandes cargas de subpresión, o solución en losa horizontal.

Sobre la losa inferior se disponen los andenes de la estación y la superestructura de la plataforma de Metro además de redes de instalaciones.

• Conexiones de las vigas de vestíbulo, prevestíbulo y losa inferior o contrabóveda con las pantallas Las conexiones de las vigas de vestíbulo, prevestíbulo y losa inferior con las pantallas se realizan con anclajes mediante barras metálicas. En la ejecución de estos anclajes se realiza un escarificado de las pantallas hasta descubrir su armadura, posteriormente se perfora en la pantalla con un diámetro mayor al de los anclajes, se introducen los anclajes y se rellena la perforación con resina. A continuación se dispone el concreto de la viga perimetral contra la superficie escarificada de la pantalla.

En la conexión de la losa inferior con la pantalla adicionalmente se dispone de un cordón longitudinal de materiales impermeables a base de polímeros o sintéticos o una junta water-stop para asegurar la impermeabilidad.

Método constructivo

La construcción de las estaciones tiene una complejidad de ejecución elevada debido al carácter urbano del marco de actuación, que implica los condicionantes típicos de este tipo de escenario y a la necesidad de prever el paso de la tuneladora por varias de las estaciones en una fase intermedia de ejecución.

La convivencia de las obras con su entorno debe ser de tal forma que se ocasionen las mínimas molestias a los vecinos de la zona y la menor afección a los edificios adyacentes.

Debido a que parte de los túneles entre estaciones se van a realizar mediante tuneladora, ha sido necesario prever el paso de ésta en la longitud de las estaciones. Se ha optado por la solución de transportar la tuneladora sobre la contrabóveda de las estaciones una vez que ya estén ejecutadas las excavaciones. El gálibo necesario de paso de la tuneladora es mayor al gálibo entre puntales definitivos de la estación, lo que ha dado lugar a la necesidad de disponer de fases provisionales con puntales metálicos sobre el gálibo de tuneladora.

Los factores que se han tenido en cuenta a la hora de optar por el proceso constructivo elegido son los siguientes:





- Las características de la sección tipo de las estaciones.
- La excavabilidad de los materiales.
- La excavación a cielo es desechada por la presencia de edificios en el entorno, la presencia constante de agua (nivel piezométrico cercano a la superficie) y la profundidad de la excavación.
- El tamaño de la sección tipo limita el poder acometer la excavación mediante tuneladora, que en principio sería el método más apropiado para la construcción de un túnel en suelos blandos, frecuentemente inestables y por debajo del nivel freático que necesitan la colocación inmediata del revestimiento definitivo del túnel.
- El paso de la tuneladora por la estación en una fase intermedia de ejecución.

De acuerdo con lo anterior, se ha considerado que el proceso constructivo más apropiado es el método conocido como "cut & cover" inferior. Esta técnica consiste en la ejecución en primera fase de un muro pantalla de contención perimetral. Posteriormente, en una segunda fase se ejecuta la losa de cubierta o apuntalamiento superior que permite una pronta reposición del tráfico y otros servicios existentes. Finalmente se excava bajo cubierta procediendo al sostenimiento de los muros pantalla ejecutados mediante diversos niveles de apuntalamiento destinados a controlar los movimientos de dichos muros debidos a las presiones del nivel freático y del propio terreno.

En este caso concreto los muros pantalla se harán con tramos continuos, para impermeabilizar los hastiales de la excavación. Los paneles de muros pantalla se excavarán empleando para sostener sus paredes lodos bentoníticos debido a la presencia constante de un nivel freático estable en los terrenos a excavar.

El empleo del método Cut & Cover aporta una garantía de control de los movimientos de los muros pantalla en todo momento, dada la presencia del apuntalamiento desde antes de la excavación del propio recinto.

Para posibilitar la excavación de los recintos configurados con muros pantalla se ha considerado un gálibo variable entre 3,50 m y 7,50 m entre niveles de apuntalamiento sucesivos. Esto permite la elevación de la cuchara de las palas excavadoras con posibles restricciones en los recintos de menor altura.

El apuntalamiento de los muros pantalla de las estaciones se resuelve mediante las propias losas de vestíbulos, puntales provisionales metálicos, la contrabóveda y tapón de jet-grouting bajo el nivel de contrabóveda.

El tapón de jet grouting tiene las funciones de ser un apuntalamiento desde las primeras fases de excavación debido a que las malas características mecánicas del terreno da lugar a deformaciones excesivas en pantallas, transferir al terreno las cargas gravitatorias de la estación y la de crear un recinto estanco (cuando el subsuelo tenga una permeabilidad elevada) durante la ejecución, que haga posibles las excavaciones. En algunos casos se ejecutarán pozos de alivio, para no diseñar la estación a flotación en situaciones provisionales. En todos los casos los bombeos serán provisionales, diseñando las Estaciones en situación definitiva como recintos estancos.

El cierre de la sección se realizará mediante sistemas que transmiten la presión hidrostática del nivel freático a las pantallas, a base de losas, contrabóvedas circulares o poligonales como previsión del posible fallo de la estanqueidad a largo plazo del tapón de jet-grouting.

La excavación de las Estaciones se realizará con la extracción de las tierras mediante rampas longitudinales, para el tramo que se realizará por pantallas, o con extracción vertical desde pozos en las calles laterales de las estaciones, para el tramo que se realizará con tuneladora.

La excavación desde la cota de segundo apuntalamiento a los niveles inferiores se realizará mediante dos métodos:

- Rampas situadas en los huecos de las losas destinados en la situación final a escaleras.
- Excavación y extracción vertical de las tierras a través de los huecos dispuestos en los niveles de apuntalamiento.

Con objeto de asegurar la impermeabilidad de las estructuras se dispone un muro forro de 0,20 m de espesor anclado a las pantallas con objeto de asegurar la impermeabilidad de las juntas entre bataches de pantalla advacentes.

- Accesos a estaciones

Los accesos a las estaciones se sitúan en un entorno urbano, lo que obliga a la utilización de muros pantalla para evitar grandes excavaciones y afectar a las edificaciones adyacentes. El sistema constructivo





utilizado es similar al del cuerpo de las estaciones, pero más sencillo ya que sólo se necesita acceder a los niveles de vestíbulos y por lo tanto las excavaciones son mucho menores.

Con la necesidad de mantener los gálibos verticales para el paso de las escaleras y escaleras mecánicas, varios tramos de muro pantalla se sitúan en voladizo sin un arriostramiento superior. Cuando la profundidad de excavación es importante para una solución en voladizo, resulta necesario disponer uno o varios apuntalamientos mediante losas de hormigón armado.

Materiales

Los materiales que se utilizarán para los distintos elementos estructurales serán los siguientes:

Concreto

- Para los elementos en contacto con el terreno (pantallas, losas de fondo o contrabóvedas y losas de cubierta) se considera un concreto con resistencia especificada a la compresión de f'c=35 MPa.
- Para los elementos de niveles de vestíbulo y prevestíbulo se considera un concreto con resistencia especificada a la compresión de f'c=35 MPa.

Acero de refuerzo corrugado

- Las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumplan con la norma NTC 2289 de grado 60 (resistencia a la fluencia mínima fy=420 MPa)
- Acero estructural en perfiles y láminas
 - o A 36 según norma ASTM A-36 fy=250MPa fu=400MPa
 - A572 grado 50 según norma ASTM A-572 fy=345 MPa fu=450MPa

3.14.2 Arquitectura de las estaciones

El diseño de las estaciones de la primera Línea de Metro de Bogotá está basado en tres aspectos fundamentales:

Los requisitos fijados en los términos de referencia (longitud del andén, usos a ubicar en cada nivel de la estación, requisitos funcionales y arquitectónicos, requisitos de instalaciones, etc...)

- El ancho de las calles en las que se ubican las diversas estaciones, que fija el ancho de cada estación para posibilitar su mejor encaje en las vías por las que discurre el trazado del Metro y así minimizar los predios que se vean afectados
- La profundidad de la estación, que queda fijada por la profundidad del túnel en ese punto del trazado.

Por otro lado, para posibilitar una sistematización constructiva, se ha buscado resolver las estaciones de la PLMB con el mínimo de tipos a repetir a lo largo del trazado.

- Esto permitirá unificar las soluciones con las que se resuelven las estaciones, redundando en una simplificación y optimización del proceso constructivo y facilitando su ejecución en obra.
- También se conseguirá una imagen unitaria de las estaciones, dotando a toda la línea de una identidad clara y reconocible.
- Al resolverse todas las estaciones mediante estos cinco tipos, se facilita al usuario familiarizarse rápidamente con el funcionamiento de las mismas y reconocer rápidamente el tipo en el que se encuentra, sus recorridos, circulaciones y localización de los diversos usos de la estación.
- Junto a estos tipos, aparecerán estaciones especiales, bien por su intermodalidad con sistemas masivos de transporte (futuras líneas de tranvía, de Metro, estación terminal de autobuses), bien por la singularidad de su inserción urbana.
- Aunque basadas en estos tipos, cada estación se particularizará para recoger las singularidades de su ubicación, conexiones intermodales, etc.

Por todo lo anterior, se han definido varios tipos de estaciones, cada uno adaptado a un ancho mínimo de calle:

- Tipo 1: Estación de andenes laterales, para calles de ancho mínimo de 36 metros; ancho de la estación, 30 metros, quedando dos franjas de 3 metros a ambos lados de la calle para conducciones de redes urbanas y acceso a los predios.
- Tipo 2: Estación de andenes laterales, para calles de ancho mínimo de 30 metros; ancho de la estación, 24 metros, quedando dos franjas de 3 metros a ambos lados de la calle para conducciones de redes urbanas y acceso a los predios.





 Tipo 3: Estación de andén central, para calles de ancho mínimo 26 metros; ancho de la estación, 20 metros, quedando dos franjas de 3 metros a ambos lados de la calle para conducciones de redes urbanas y acceso a los predios.

Estos tipos, a su vez, se dividen en varios subtipos en función de la profundidad del trazado del túnel:

- Cota carril -19,20 metros, cuando se ejecuta mediante tuneladora: Tipos 1 y 2 entre túnel ejecutado con tuneladora: al ejecutarse el túnel del metro que pasa por estos tipos mediante el sistema constructivo de tuneladora, la cota carril queda fijada por la profundidad a la que se debe ejecutar la perforación de la tuneladora. Esta profundidad ha quedado fijada en mantener al menos la distancia equivalente a un diámetro entre la clave del túnel y la superficie del terreno, quedando en una profundidad de cota carril de -19,20 metros, desde el punto más bajo de la urbanización superior a la estación.
- Cota carril -15,70 metros, cuando se ejecuta mediante pantallas: Tipos 1, 2 entre túnel ejecutado mediante pantalla de concreto: estaciones similares en esquema funcional y lay-out a las anteriores, con la particularidad de estar entre con túneles ejecutados mediante pantallas de concreto laterales. En este caso, no es preciso mantener ninguna distancia específica entre el túnel y la superficie del terreno. La profundidad queda fijada por el gálibo de paso del tren, más la altura libre del vestíbulo y el falso techo con paso de instalaciones por encima. En este caso la cota carril queda fijada a una profundidad de -15,70 metros. Tipo 3 entre túnel ejecutado mediante pantalla de concreto: estación de andén central, situada entre con túneles ejecutados mediante pantallas de concreto laterales. En este caso, no es preciso mantener ninguna distancia específica entre el túnel y la superficie del terreno. La profundidad queda fijada por el gálibo de paso del tren, más la altura libre del vestíbulo y el falso techo con paso de instalaciones por encima. En este caso la cota carril queda fijada a una profundidad de -15,70 metros.
- Hay diversos aspectos comunes a todos los tipos de estaciones:
 - Tratamiento del espacio como un todo unitario, facilitando la comprensión de la estación y la rápida visualización de recorridos.
 - Estación espaciosa y amplia, posibilitando un uso cómodo y agradable para el usuario.
 - Recorridos claros e intuitivos, de fácil comprensión por parte del usuario.
 - Agrupación de usos por grupos coherentes y homogéneos (instalaciones, servicios públicos, uso de personal restringido, cuartos técnicos, etc.)

- Integración del espacio para la subestación de tracción dentro del volumen de la estación, simplificando la implantación urbana de este uso y optimizando el coste de su ejecución.
- o Integración de los espacios de la ventilación de túnel dentro del volumen de la estación, mejorando la seguridad de la ventilación del túnel, simplificando también la implantación urbana de este uso y optimizando el coste de su ejecución.
- Para facilitar la accesibilidad a las estaciones y la máxima comodidad para los usuarios, se han dispuesto, entre todos los niveles de las estaciones, escaleras fijas, escaleras eléctricas de bajada y de subida y un ascensor apto para Personas de Movilidad Reducida (PMR) y en silla de ruedas.

En la tabla de la página siguiente se presenta un resumen con los principales datos de las estaciones:





TABLA RESUMEN DE LAS ESTACIONES

					TIPO DE EST	ACIÓN		SIT	TUACIÓN					DIMENSIO	NES			NIVELE	-s				EQUI	PAMIEN	то		
		BRETE L	Estación	BRETE L	Intermodalida d de las estaciones	Tipo de estació n y tipo de andén	Cota de referenci a en la calle	Profundida d	Cota carril	P.K. Inicio de la estació n	P.K. Final de la estació n	Longitu d	Anch o	Superfici e Andén	Superfici e Vestíbulo	Superfici e Pre - Vestíbulo	Andé n	Vestíbul o	Prevestíbul o	Nº ACCESOS + TRANS FERENCI A	ASCENSORES	ESCALERAS ELÉCTRICAS PASILLOS ELÉCTRICOS	PUERTAS FLAP 2021	PUERTAS FLAP 2050	MAQUINAS EXPENDEDORAS 2021	MAQUINAS EXPENDEDORAS 2050	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
	1	X	P. de Las Américas	х	Transferencia Transmilenio	Tipo 1 tunel, Andén lateral	2.540,73	19,20	2.521,5	936,87	1.145,07	208,2	30,7	2.344,9	2.692,6	2.526,9	-18,10	-11,80	-6,70	4+3	10	26 4	12	16	5	5	SÍ
	2		Casablanca		Paso	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.543,08	19,20	2.523,8	1.716,35	1.924,55	208,2	30,7	2.338,8	3.045,1	3.482,3	-18,10	-11,80	-6,70	4	6	18 0	8	8	9	9	SÍ
	3		Villavicencio		Paso	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.551,61	19,20	2.532,4	2.401,30	2.609,50	208,2	30,7	2.338,8	3.043,1	3.055,8	-18,10	-11,80	-6,70	3	6	18 0	12	15	12	12	
TRAMO 1 (L=6667,44 2 m)	4	X	Palenque		Paso	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.554,10	19,20	2.534,9	3.274,58	3.482,78	208,2	30,7	2.338,8	3.043,1	2.938,2	-18,10	-11,80	-6,70	3	7	16 0	8	10	8	8	SÍ
	5		Kennedy		Paso	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.553,86	19,20	2.534,6	4.072,59	4.280,79	208,2	30,7	2.338,8	3.043,1	3.055,8	-18,10	-11,80	-6,70	4	7	18 4	8	8	8	8	
	6		Boyacá		Transferencia Transmilenio	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.554,40	19,20	2.535,2	5.329,52	5.537,72	208,2	30,7	2.225,5	3.741,4	2.486,6	-18,10	-11,80	-6,70	4+1	7	22 4	10	16	7	7	SÍ
	7	X	1°de Mayo		Paso	Tipo 1 tunel, Andén lateral	2.554,41	19,20	2.535,2 1	6.142,70	6.350,90	208,2	30,7	2.338,6	3.043,0	3.297,7	-18,10	-11,80	-6,70	3	6	16 0	8	8	4	4	
	8		Avenida 68		Transferencia Transmilenio + Metro Ligero	Tipo 1 tunel ESP, Andén lateral	2.555,53	19,20	2.536,3	293,58	519,78	226,2	30,7	2.498,6	3.644,2	8.026,2	-18,10	-11,80	-6,70	5+1	10	24 0	40	51	8	8	SÍ
TRAMO 2 (L=7329,29 3 m)	9		Rosario	Х	Paso	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.554,13	19,20	2.534,9	1.470,73	1.678,93	208,2	30,7	2.270,5	2.974,9	3.777,9	-18,10	-11,80	-6,70	4	7	16 0	8	8	9	9	
	10		NQS	x	Transferencia Transmilenio	Tipo 1 tunel Andén lateral	2.559,77	19,20	2.540,5 7	2.845,98	3.054,18	208,2	30,7	2.277,2	1.505,1	4.774,2	-18,10	-11,80	-6,70	3+3	8	24 0	20	24	6	6	SÍ





TABLA RESUMEN DE LAS ESTACIONES

					TIPO DE EST	ACIÓN		SIT	TUACIÓN					DIMENSIO	NES			NIVELE	ES .				EQUI	PAMIEN	то	
	E	BRETE L	Estación	BRETE L	Intermodalida d de las estaciones	Tipo de estació n y tipo de andén	Cota de referenci a en la calle	Profundida d	Cota carril	P.K. Inicio de la estació n	P.K. Final de la estació n	Longitu d	Anch o	Superfici e Andén	Superfici e Vestíbulo	Superfici e Pre - Vestíbulo	Andé n	Vestíbul o	Prevestíbul o	Nº ACCESOS + TRANS FERENCI A	ASCENSORES	ESCALERAS ELECTRICAS PASILLOS ELÉCTRICOS	PUERTAS FLAP 2021	PUERTAS FLAP 2050	MAQUINAS EXPENDEDORAS 2021	MAGUNAS EXPENDEDORAS 2050 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
	11		Santander		Paso	Tipo 2 tunel, Andén lateral	2.563,10	19,20	2.543,9	4.128,86	4.391,07	262,2	24,2	2.439,0	3.626,8	1.758,0	-18,10	-11,80	-6,20	3	6	20 0	19	21	8	8
	12	X	Nariño		Paso	Tipo 2 tunel, Andén lateral	2.567,64	19,20	2.548,4 4	4.920,03	5.182,23	262,2	24,2	2.442,1	3.055,0	1.711,3	-18,10	-11,80	-6,20	3	7	20 0	8	10	5	8 SÍ
	13		Hortúa		Transferencia Transmilenio	Tipo 2 tunel, Andén lateral	2.573,85	19,20	2.554,6 5	5.739,81	6.002,01	262,2	24,2	2.441,7	3.458,0	3.234,4	-18,10	-11,80	-6,20	4+2	7	20 0	28	28	8	9
	14		San Victorino	х	Transferencia Transmilenio	Tipo 2 tunel, Andén lateral	2.592,96	19,20	2.573,7 6	7.035,90	7.298,10	262,2	24,2	2.441,7	3.458,0	3.234,4	-18,10	-11,80	-6,20	4+2	6	20 0	26	34	15	15 SÍ
	15		Lima		Transferencia Transmilenio	Tipo 2 tunel, Andén lateral	2.596,93	19,20	2.577,7 3	366,95	629,15	262,2	24,2	2.442,2	3.371,9	4.001,9	-18,10	-11,80	-6,20	4+2	4+ 2	16 0	24	30	10	10
	16	X	La Rebeca		Transferencia Transmilenio	Tipo 2 tunel ESP, Andén Lateral	2.596,60	23,40	2.573,2	1.009,49	1.332,39	322,9	24,2	2.417,1	11.469,1	1.235,0	-22,30	-16,00	-8,30	2+2	9	25 0	17	25	17	17 SÍ
TRAMO 3 (L=6166,13	17		Parque Nacional		Paso	Tipo 2 tunel, Andén lateral	2.583,13	19,20	2.563,9	2.401,75	2.664,03	262,3	24,2	2.443,7	3.160,6	1.486,5	-18,10	-11,80	-6,20	2	6	22 0	14	14	15	15
8 m)	18	X	Gran Colombia		Paso	Tipo 3 pantalla , Andén Central	2.574,70	15,70	2.559,0	3.233,04	3.654,25	421,2	20,4	1.608,1	4.502,4		-14,60	-8,30		4	5	14 0	14	18	9	10 SÍ
	19		Marly		Paso	Tipo 3 pantalla , Andén Central	2.570,15	15,70	2.554,4	3.949,74	4.364,95	415,2	20,4	1.722,3	4.066,4		-14,60	-8,30		4	5	8 0	8	8	9	10
	20		Santo Tomás	Х	Paso	Tipo 2	2.566,11	15,70		4.810,42	5.072,66	262,2	24,2	2.449,0	3.848,7		-14,60	-8,30		2	6	16 0	8	12	11	12 SÍ



TABLA RESUMEN DE LAS ESTACIONES

					TIPO DE EST	ACIÓN		SIT	UACIÓN					DIMENSIO	NES			NIVELE	ES .				EQU	IPAMIEN			
		BRETE L	Estación	BRETE L	Intermodalida d de las estaciones	Tipo de estació n y tipo de andén	Cota de referenci a en la calle	Profundida d	Cota carril	P.K. Inicio de la estació n	P.K. Final de la estació n	Longitu d	Anch o	Superfici e Andén	Superfici e Vestíbulo	Superfici e Pre - Vestíbulo	Andé n	Vestíbul o	Prevestíbul o	Nº ACCESOS + TRANS FERENCI A	ASCENSORES	ESCALERAS ELÉCTRICAS PASILLOS ELÉCTRICOS	PUERTAS FLAP 2021	PUERTAS FLAP 2050	MAQUINAS EXPENDEDORAS 2021	MAQUINAS EXPENDEDORAS	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
						Andén Lateral																					
	21		Plaza Lourdes		Paso	Tipo 1 pantalla , Andén Lateral	2.570,11	15,70	2.554,4 1	5.555,92	5.764,12	208,2	30,7	2.517,3	4.013,9		-14,60	-8,30		2	6	14 0	8	8	8	8	
	22	X	Avenida Chile		Paso	Tipo 2 pantalla , Andén Lateral	2.567,72	15,70	2.552,0 2	454,74	716,94	262,2	24,2	2.452,1	3.686,2		-14,60	-8,30		3	6	20 0	22	33	36	36	SÍ
	23	Х	Calle 85		Paso	Tipo 2 pantalla , Andén Lateral	2.558,58	15,70	2.542,8 8	1.390,42	1.670,91	280,5	24,2	2.655,6	4.236,5		-14,60	-8,30		4	6	12 0	17	22	16	20	
TRAMO 4 (L=6902,40	24		Parque 93		Paso	Tipo 2 pantalla , Andén Lateral	2.561,54	15,70	2.545,8 4	2.607,46	2.887,96	280,5	24,2	2.665,0	4.197,3		-14,60	-8,30		3	6	12 0	8	12	13	18	SÍ
0 m)	25	X	Calle 100		Transferencia Transmilenio a futuro	Tipo 2 pantalla , Andén Lateral	2.556,20	15,70	2.540,5 0	3.416,10	3.696,60	280,5	24,2	2.663,5	4.927,4		-14,60	-8,30		5	7	16 4	10	14	10	10	
	26		Usaquén		Paso	Tipo 1 pantalla , Andén Lateral	2.556,90	15,70	2.541,2 0	4.875,87	5.084,07	208,2	30,7	2.389,9	4.703,8		-14,60	-8,30		3	7	14 0	8	8	4	5	SÍ
	27	X	Calle 127	х	Transferencia Transmilenio + Metro Ligero	Tipo 2 pantalla ESP, Andén Lateral	2.558,30	20,70	2.537,6	5.882,75		339,0	33,7	6.305,5	5.901,5	10.938,5			-7,70	4+2	10	40 0	20	36	11	13	sí

Tabla 39. Resumen de características de las estaciones





3.14.3 Instalaciones de las estaciones

Todas estaciones de la PLMB dispondrán de las instalaciones necesarias, con los niveles de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad adecuados, para conseguir la prestación de un servicio de transporte de viajeros de calidad.

Todas las instalaciones han sido proyectadas conformes, en primera instancia, a las Normas y Reglamentos colombianos aplicables y, de manera complementaria, a las Normas Internacionales.

Las estaciones dispondrán de las siguientes instalaciones:

- Instalación eléctrica

La red de metro estará provista de una red de CTs o Centros de Transformación repartidos en cada una de las estaciones, con el objeto de suministrar la energía necesaria para todos los sistemas de la misma.

Cada estación dispondrá de un único CT con dos transformadores (uno redundante del otro) que suministren la potencia necesaria de la estación y cada uno alimentado de diferente rama del anillo de media tensión de instalaciones.

Los sistemas que son de seguridad, cuyo funcionamiento es necesario incluso si la prestación del servicio ha finalizado, se alimentarán desde dos unidades UPS trifásicas redundantes entre sí con una autonomía de autonomía total será de 4 horas (2 + 2).

El sistema de red de tierra de las estaciones de la PLMB será único para todos los sistemas de la estación. Asimismo todas las redes de tierras de las estaciones estarán unidas entre sí y con las diferentes subestaciones exteriores, garantizando una red de tierras única para todo el sistema metro.

- Iluminación

Se dispondrá de un sistema de alumbrado que cumple con los siguientes objetivos: eficiencia energética con el uso de fuentes de luz de tecnología eficiente, niveles de iluminación óptima, confort visual y estética.

Se dispondrá de un alumbrado de emergencia con el objeto de evitar el pánico y guiar al usuario fuera de la estación o a un lugar adecuado, en caso de fallo del sistema de alumbrado general.

- Ventilación y climatización

El sistema de ventilación garantizará unas condiciones óptimas de salubridad mediante la impulsión de aire exterior y la extracción del aire viciado. El sistema también garantizará un adecuado confort térmico en todas las estaciones.

Para la ventilación de las zonas públicas de la estación se dispondrán ventiladores axiales situados cada uno en un extremo de la estación, uno de ellos para la impulsión de aire fresco y el otro para la extracción de aire viciado.

Los locales con ocupación permanente y en los que contengan equipos sensibles a temperatura se dotarán con equipos de refrigeración que garantizarán las temperaturas de confort adecuadas para los ocupantes de cada local o las temperaturas óptimas de trabajo de los equipos, maximizando su rendimiento.

Equipos electromecánicos

Se dispondrán equipos electromecánicos de transporte con los objetivos principales de: permitir el acceso a andenes a personas de movilidad reducida y reducir el tiempo de viaje.

Los elementos electromecánicos instalados en las estaciones serán: escaleras mecánicas, ascensores y pasillos móviles.

- Instalación hidrosanitaria

Se dispondrá la instalación hidrosanitaria necesaria para dotar a los aparatos sanitarios de agua con la suficiente calidad para el consumo humano, así como evacuar las aguas residuales derivadas de su uso.

Cada estación dispondrá de capacidad suficiente para la acumulación de 1 día de consumo.

- Protección contra incendios





Se dispondrá de un sistema de protección contra incendios con los siguientes objetivos: reducir en todo lo posible el riesgo de incendios en edificaciones, detección rápida y efectiva del incendio, evitar la propagación del fuego tanto dentro de las edificaciones como hacia estructuras aledañas, facilitar el proceso de extinción de incendios en las edificaciones y minimizar el riesgo de colapso de la estructura durante las labores de evacuación extinción.

Se dispondrá de un sistema adecuado de extinción de incendios (extintores, hidrantes, rociadores, agua nebulizada) y detección de incendios (detectores de humo, de temperatura, por aspiración, de haz proyectado).

- Control de humos

Para la extracción de los humos en caso de incendio de la estación, así como para sobrepresionar las zonas de la estación en las que no haya fuego, se utilizarán lo ventiladores axiales previstos para la ventilación normal de la estación, que tendrán resistencia a 400°C durante 2 horas.

Los ventiladores axiales serán 100% reversibles de manera que, en caso de incendio el ventilador que en servicio normal funciona como impulsión funcionará extrayendo el humo provocado por el incendio y el ventilador que en funcionamiento normal extrae el aire viciado funcionará como impulsión para mantener las áreas sin fuego, en sobrepresión evitando que entre el humo en ellas.

La instalación se ha diseñado para una altura libre de humos de 2,7 metros para garantizar que la evacuación se realice en unas condiciones óptimas de visibilidad.

Se han realizado una serie de simulaciones computacionales mediante el software de fluidodinámica computacional de incendios 'Fire Dynamics Simulator, FDS' a fin de poder validar la solución prevista en proyecto constructivo para la ventilación en caso de incendio de las estaciones de la Línea 1 del Metro de Bogotá.

3.15 Talleres y cocheras

Se ha previsto un complejo unificado que agrupa los talleres y las cocheras de estacionamiento del material rodante de la línea, con objeto de dar servicio de la forma más funcional al mantenimiento de los coches, los vehículos auxiliares de mantenimiento, y a la propia infraestructura de la línea.

Para determinar la ubicación óptima de los talleres y cocheras, atendiendo a criterios técnicos, socioeconómicos, ambientales, etc., se ha realizado un estudio detallado de alternativas, el cual ha concluido como más ventajosa la ubicación del complejo en la localidad de Bosa, al oeste de Bogotá y de la línea, concretamente en el predio de Bosa 37.

Para acceder hasta dicha ubicación desde la estación ubicada en el extremo oeste de la línea, Portal de las Américas, ha sido necesario proyectar un ramal técnico de 5,62 km de longitud, que discurre en su último tramo paralelo a la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO).



Figura 36.- Ubicación de los Talleres y Cocheras de la línea

La calificación urbanística de las cuatro parcelas que componen dicho predio en la actualidad es de *Área Urbana Integral y zonas Residencial y Múltiple*, por lo que el plan requiere ser recalificado previamente a la construcción. En el presente proyecto se incluyen los parámetros urbanísticos que deben ser considerados en la revisión del planeamiento para permitir la construcción de los talleres y cocheras.





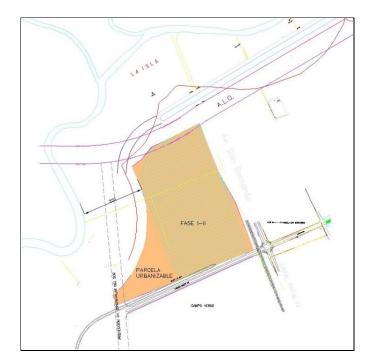


Figura 37.- Parcela urbanizable y Parcela Fase I-II

El predio urbanizable total para todas las fases del proyecto resultante es 410.891,02 m². El terreno sobre el que se prevé realizar la construcción del complejo está considerado como terreno inundable en caso de crecimiento de los ríos y canales cercanos en períodos de lluvias intensas, de forma que previamente a la construcción será necesario realizar una importante obra de relleno del terreno para aumentar su cota desde los actuales 2.538-2.542 m sobre el nivel del mar hasta los 2.543,5 m.s.n.m. Esta cota se ha determinado a partir de los estudios hidrológicos de la zona, que establecen como cota segura frente a inundaciones la 2.542,6 m.s.n.m. Dado que gran parte del taller principal cuenta con un gran foso de 1,2 m de profundidad, se ha considerado adecuado aumentar la cota recomendada en los estudios hidrológicos hasta la proyectada finalmente de 2.543,5 m.s.n.m.

A partir de esta gran obra de relleno, que requiere además una precarga para conseguir la resistencia del terreno necesaria para la construcción, y una posterior retirada de las tierras de precarga hasta conseguir una superficie plana a la cota antes mencionada, se realizarán los trabajos de urbanización del complejo, comenzándose por los movimientos de tierras necesarios para realizar el drenaje y los cajeados en las zonas donde se van ubicar los viales vehiculares, los edificios y las plataformas de vías. Los viales están diseñados para facilitar el acceso a todos los edificios e instalaciones de forma sencilla y rápida, y cuentan con aceras peatonales en uno de los márgenes.

El dimensionamiento del complejo se ha realizado a partir del número de vehículos que componen la flota de material rodante, teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos, necesidades y condicionantes:

- Necesidades de espacio de estacionamiento:
 - Flota prevista en fase inicial: 47 trenes
 - Flota prevista en fase finalista: 66 trenes
- Separación física y funcional de las vías de funcionamiento automático de los trenes (CBTC) y de las vías de manejo con conductor para acceso a talleres.
- Labores de mantenimiento a realizar en el material rodante, ya sean preventivas y/o correctivas:
 - Larga estadía Mantenimiento Mayor
 - Corta estadía Mantenimiento Menor
- Labores de mantenimiento a realizar sobre la infraestructura de la línea:
 - Mantenimiento de plataforma, vía, catenaria de alimentación eléctrica, subestaciones de alimentación y tracción, estaciones de viajeros, túneles, pozos de ventilación, etc.
 - Vehículos auxiliares de mantenimiento
- Equipamiento necesario para el mantenimiento de material rodante: lavadero de trenes, cabinas de pintado, equipo de medición de parámetros de rodadura, equipamiento de soplado y lavado de bajos, equipo de torneado de ruedas, equipos de mantenimiento de bogies, equipos de mantenimiento de componentes del tren,
- Necesidades de espacios administrativos y de servicios a los talleres: oficinas, aulas de formación, cuartos técnicos, aseos y vestuarios, servicios médicos, zonas de almacenamiento, laboratorios de electrónica, cuartos de baterías, etc.
- Recomendable disponer un trazado de vías que permita invertir el sentido de circulación de los trenes para igualar desgastes.

Serán necesarias inicialmente veinticuatro (24) vías, que deberán ampliarse hasta un total de treinta (30) vías para acoger la totalidad de los 66 trenes previstos en la fase finalista. Se prevé ampliar el edificio de cocheras en su lateral norte, aumentando la capacidad del número de vías. También podrá habilitarse en el futuro una nueva zona de estacionamiento ampliando una superficie en el extremo sur-occidental de la parcela inicial de talleres y cocheras.



Con todas estas premisas se ha diseñado el complejo de talleres y cocheras que se presenta a continuación:

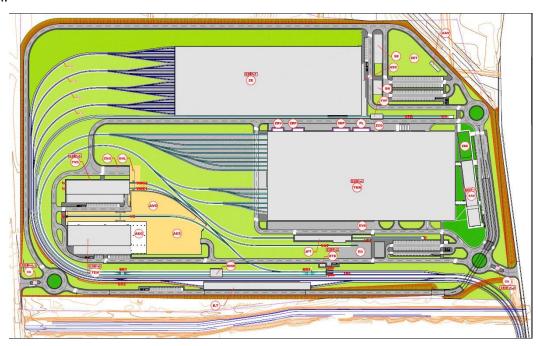
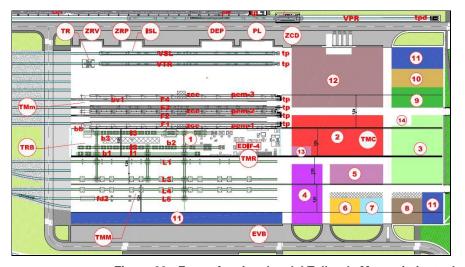


Figura 38.- Planta de distribución del complejo de Talleres y Cocheras

En él se identifican los siguientes edificios:

- Edif. 1.- Casetas de Control de Accesos (CA)
- Edif. 2.- Edificio de Toma y Deje (ETD) de los trenes para su paso a los talleres de mantenimiento
- Edif. 3.- Edificio Administrativo y de Servicios (EAD)
- Edif. 4.- Taller de Mantenimiento de Material Rodante (TMR), dividido en las siguientes zonas funcionales:
 - a. Taller de Mantenimiento menor (TMm)
 - b. Taller de Mantenimiento Mayor (TMM)
 - c. Taller de Reparación de Bogies (TRB)
 - d. Taller de Mantenimiento de Componentes (TMC)
 - e. Vía de Soplado y Lavado de Bajos (VSL)
 - f. Vía de Torneado de Ruedas (VTR)



ZONAS TMC

- Sección de Bogies
- 2 Sección de Motores
- 3 Sección de Mecánica-Neumática
- 4 Sección de Potencia y Auxiliares
- 5 Sección de Máquinas-Herramientas
- 6 Sección de Poliéster-Interiorismo
- 7 Sección Pintura-Componentes
- 8 Cuarto de Baterías
- 9 Bancos de Pruebas Mecánica-Neumática
- 10 Laboratorlo Electrónico
- 11 Salas Técnicas
- 12 Almacén General
- 13 Box Jefe Electricidad-Electrónica
- 14 Box Jefe Mecánicas-Neumáticas

Figura 39.- Zonas funcionales del Taller de Mantenimiento de Material Rodante (TMR)

- Edif. 5.- Taller de Vía y Catenaria (TVC) para mantenimiento de plataforma, vía y catenaria, y de los propios vehículos auxiliares de mantenimiento.
- Edif. 6.- Taller de Mantenimiento Electromecánico (TEM) para la infraestructura de la línea.
- dif. 7.- Zona de Estacionamiento de trenes (ZE) Edificio de Servicios de Cocheras (ESC)

Además de estos edificios principales, existen otras áreas funcionales con equipamiento distribuidas a lo largo del complejo:

- Instalación de Lavado de Trenes (ILT)
- Equipo de Medición de Ruedas (EMR)
- Instalación de Pintado de Trenes (IPT)
- Zona de Estacionamiento de Góndolas (EG) Vía de Agrupación de Trenes (VAT)
- Zona de Repostaje de Gasoil (ZRG)
- Zona de Acopio de Vía y Catenaria (AVC)
- Zona de Acopio de Equipamiento Exterior (AEE)
- Zona de Acopio de Equipamiento Cubierta (AEC)
- Zona de Recogida de Virutas (ZRV) del proceso de torneado
- Zona de Recogida de Polvo (ZRP) del proceso de soplado y lavado de bajos
- Depuradora de aguas de baldeo de talleres (DEP)
- Punto Limpio de Reciclaje de Materiales (PL)
- Vía de Pruebas (VPR) Foso de la Vía de Pruebas (FVP)





- Subestación Eléctrica de Tracción y Auxiliares (SE)
- Depósito de Riego (DR) con aljibe de recogida de aguas pluviales de las cubiertas
- Almacén de Aceite y Volátiles (AAV)

En cuanto a la operación de las instalaciones, el funcionamiento general será el siguiente: los trenes circularán en modo automático entre las vías de acceso desde la línea y las cocheras de estacionamiento, asignándoles el PCC una vía determinada para estacionar al finalizar el servicio. Allí se llevará a cabo la limpieza diaria interior de los trenes, generalmente en horario nocturno. En caso de ser necesario el lavado exterior de los trenes, programado de forma regular, el tren será desviado a la vía de lavado, paralela a las de acceso/salida, bien al comienzo o bien al final del servicio.

Cuando sea necesario realizar tareas de mantenimiento en los trenes, bien programadas o bien ante la detección de alguna anomalía, el PCC desviará el tren a las vías de toma y deje, donde un conductor tomará el mando del tren para dirigirlo hacia las vías del taller de mantenimiento mayor o menor, en función del alcance de la operación a realizar. Previamente puede ser necesario realizar una medición de los parámetros de rodadura, que se haría al paso en las vía que conducen hacia los talleres, en el punto donde se ubica el equipo de medición de ruedas, o lavar los bajos del tren en la vía de soplado y lavado. En caso de que se determine la necesidad de tornear las ruedas, se hará en la vía de torneado. En las vías donde no exista electrificación, los trenes se moverán arrastrados por locotractores biviales.

Una vez estacionado el tren en los talleres, se desmontarán las piezas necesarias, que serán reparadas o sustituidas en las distintas zonas del taller de mantenimiento de componentes. Los operarios del taller de material rodante accederán al mismo a través del edificio administrativo y de servicios, donde cuentan con vestuarios, aseos, servicios médicos, cantina, etc. Éste alberga además las oficinas de administración y dirección, el PCC de respaldo, salas de formación, simulación, etc. Cuenta con un módulo con espacios independientes para una posible subcontrata.

En cuanto a la infraestructura de la línea, para su mantenimiento cuenta en primer lugar con el taller de vía y catenaria, donde se acopian y reparan los elementos y equipos de plataforma, vía y electrificación, además de mantenerse los propios vehículos de mantenimiento de la línea: esmeriladora, dresinas de vía y catenaria, bateadora, vehículo bivial de encarrilamiento y maniobras, vagonetas portamateriales, vagóntolva para balasto, payloader, etc.

Además, el complejo cuenta con un taller de mantenimiento electromecánico destinado reparar y mantener la infraestructura y equipamiento de túneles y estaciones, como escaleras mecánicas, máquinas expendedoras, equipos de ventilación y climatización, equipamiento eléctrico, de señalización, de comunicaciones, información a usuarios, mobiliario, paneles publicitarios, etc.

Tanto el TVC como el TEM cuentan con sus propias instalaciones de vestuarios, aseos, oficinas, formación, servicio médico, etc., estando preparados y equipados para funcionar de modo independiente al TMR en caso de que así se decida.

3.16 Puesto Central de Control (PCC)

3.16.1 Estructura del Puesto Central de Control (PCC)

El Puesto de Control Central (PCC) es un edificio que consta de cuatro plantas sobre rasante, y una subterránea. Se trata de una estructura construida con concreto reforzado. Tanto la solera, como las cuatro losas de las diferentes plantas, así como las cubiertas, son losas macizas. Los pilares son de dimensiones variables, condicionadas por los esfuerzos de diseño que deben soportar. En general se ha adoptado la forma rectangular, pero en aquellos lugares en los que la arquitectura sugiere contornos redondeados, sin aristas, se han dispuesto pilas circulares.

El bloque principal del edificio PCC tiene forma paralepipédica, con planta trapecial condicionada por el urbanismo, y a partir de la tercera planta, en dos alturas, se retranquean bloques de planta rectangular.

Las cotas superiores de losa de los distintos niveles se definen a continuación:

- Losa de cubierta. Planta P 5	+15,80 m
- Losa de casetones. Planta P 5	+14,70 m
- Losa Planta P 4	+11,80 m
- Losa Planta P 3	+ 7,80 m
- Losa Planta P 2	+ 3,80 m
- Losa de vestíbulo. Planta P 1	- 0,20 m
- Solera de cimentación. Planta P-1	- 3.65 m





El perímetro del edificio se ejecuta con muros de concreto armado de 40 cm de espesor, cuyas funciones son las siguientes:

- Contención de tierras evitando la afección a las edificaciones próximas
- Apoyo perimetral de los distintos forjados
- Mantenimiento de un perímetro impermeable.

La losa de cimentación tiene una sección transversal de losa maciza de concreto armado de canto constante de 0,60 m. La geometría de la losa es un trapecio de lados 17,0 m y 32,0 m, altura 45,0 m y una superficie de 1.100 m². La losa se sitúa enterrada un valor aproximado de 4,00 m por debajo de la urbanización proyectada. Esta losa se encuentra apoyada sobre el terreno, con la interposición de una capa de concreto de limpieza y nivelación.

Entre las distintas plantas se disponen losas macizas de concreto armado de canto constante de 0,24 m, apoyadas sobre pilares de concreto, dispuestos en retícula regular de 6,0 m x 6,0 m.

3.16.2 Arquitectura del Puesto Central de Control (PCC)

Implantación

La implantación de la estación de Boyacá en un lote urbano, va a originar una gran área de oportunidad. Se ha previsto la posibilidad de utilizar esta área de actividad para ubicar en ella un edificio administrativo asociado al Metro de Bogotá. Junto a este gran lote, hay otra parcela, de menores dimensiones, que es necesario ocupar por la afección del paso del túnel subterráneo bajo este lote y por la situación de una boca de acceso.

Esta parcela menor es la elegida como ubicación para el PCC, dejando todo el lote de la estación libre para su uso como área de oportunidad urbana, disponible para emplazar en ella el mencionado conjunto administrativo del Metro de Bogotá y otros usos.

Descripción general del edificio.

La base del Puesto Central de Control es la Sala de Operaciones, núcleo funcional del PCC y en torno al cual se articula el resto del programa.

El Puesto Central de Control se desarrolla en 4 plantas sobre el terreno más una planta sótano:

Planta sótano:

En la planta sótano se localizan el aparcamiento y diversos cuartos de instalaciones:

- Salas eléctricas: Centro de Transformación, Grupo electrógeno, sala de U.P.S, sala eléctrica de baja tensión. (Para más información, ver documento 202006-DF-PR17-ANX17-INS-01-00)
- Sala de fontanería y drenaje. (Para más información, ver documento 202006-DF-PR17-ANX17-INS-01-00)
- Sala de instalaciones de protección contra incendios, donde se ubicarán los equipos, bombas y el depósito de protección contra incendios del PCC. (Para más información, ver documento 202006-DF-PR17-ANX17-INS-01-00)
- Sala de telecomunicaciones, (Para más información, ver documento 202006-DF-PR17-ANX17-MEM-02-00)
- Sala de Telefonía, (Para más información, ver documento 202006-DF-PR17-ANX17-MEM-02-00)
- Almacén de materiales varios.
- Aparcamiento para personal del PCC y para carga y descarga de material sensible.
- Núcleos de comunicaciones verticales del PCC

Para proporcionar ventilación natural a las salas del grupo electrógeno, salas de UPS y sala de del centro de transformación, se ha dispuesto un patio subterráneo abierto en el lateral oriental del edificio.

Planta Primera:

Planta de acceso y de salas funcionales principales: junto a la zona de acceso se ubican una recepción, un cuarto de seguridad, un cuarto de primeros auxilios y un archivo. Esta planta está diferenciada en una zona de uso restringido sólo para los trabajadores del centro y una zona de acceso público, para las personas que acudan a la sala de presentaciones. En la zona de acceso restringido se encuentra la Sala de Operaciones, dentro de la cual hay un puesto central de Control y mantenimiento. Ambas usos están en el mismo recinto espacial, confinado por pantallas de concreto reforzado, lo que permite la rápida comunicación entre los operadores. Hay un segundo recinto confinado en otro volumen de pantallas de concreto reforzado, que alberga en su interior la Sala Técnica de CPD1, un vestíbulo previo a la Sala para garantizar la estanqueidad de la misma y una sala con equipamiento de extinción de incendios. Estas





salas están replicadas en el Puesto de Control de Respaldo, ubicado en Talleres y Cocheras. También hay en esta planta un cuarto eléctrico que alberga los cuadros eléctricos de esta planta.

La planta primera cuenta con dos salidas de evacuación del edificio, en cumplimiento de la NSR-10. Una de ellas, es la puerta principal del edificio, en la zona de recepción. La otra salida se encuentra a pie de la escalera de evacuación alejada de la zona de recepción, permitiendo la evacuación directa de esta escalera a la calle. Para no debilitar la seguridad del edifico, esta puerta se destinará únicamente a evacuación en caso de emergencia, por lo que estará habitualmente retenida electromecánicamente y se desbloqueará en caso de caída de tensión o señal de alarma en el edificio.

Hay un núcleo de baños, tanto femeninos como masculinos y adaptados al uso para personas con movilidad reducida.

Planta Segunda:

Planta donde se localizan las salas de gestión de crisis: Sala de Gestión de emergencias e Incidencias, Sala de IDIGER y Bomberos y Sala de Crisis. Junto a la sala de crisis, se ubican la sala de Presentaciones, la Sala de mantenimiento – con 5 puestos – y la Sala de grabación y análisis de incidencias. También hay una Sala de Formación y Simulación. La Sala de Presentaciones y la Sala de Crisis cuentan con visual a la Sala de Operaciones y al video-wall instalado en esta. Esta planta también está dividida en una zona de uso restringido al personal del PCC y una zona pública que da acceso a la Sala de Presentaciones. También hay en esta planta un cuarto eléctrico que alberga los cuadros eléctricos de esta planta y un cuarto de limpieza.

Hay un núcleo de aseos para uso tanto para el público que acuda a la sala de presentaciones como para el personal del PCC. También se ubican en esta planta los vestuarios para el personal del centro. Todos estos baños y vestuarios están adaptados al uso para personas con movilidad reducida.

Planta Tercera:

En esta planta se ubica el programa de carácter más administrativo del PCC; el despacho del Director del PCC, 2 salas de reuniones amplias, una sala para los responsables de línea o líneas y los cuatro despachos de los 4 responsables de áreas: área de operación, área de mantenimiento, área de energía y área de seguridad. También se ubica en esta zona la Sala de Billetaje y un Área de Oficina. Esta planta es

de menor tamaño que la planta segunda, apareciendo una gran terraza que tendrá una cobertura de césped artificial, buscando proporcionar un entorno de trabajo agradable al personal del PCC, conjuntado con un mínimo mantenimiento. Esto permite además escalonar el edificio, reduciendo la escala del mismo y favoreciendo su integración urbana. También hay en esta planta un cuarto eléctrico que alberga los cuadros eléctricos de esta planta, un cuarto para racks de comunicaciones – para reducir las longitudes de los cables de fibra óptica y mejorar la transmisión por la misma - y un cuarto de limpieza.

Hay un núcleo de baños, tanto femeninos como masculinos y adaptados al uso para personas con movilidad reducida.

Planta cuarta:

En esta planta se ubica la cocineta y el comedor del personal del centro, abierto de nuevo sobre una gran terraza verde, posible porque esta planta es de nuevo menor que la planta inferior.

También se localiza en esta planta la sala de refrigeración del PCC.

<u>Usos de servicio:</u>

En todas las plantas hay una dotación de aseos para el personal del PCC, adaptados para Personas con Movilidad Reducida. Además, en planta segunda, respondiendo a la sala pública de las Presentaciones, hay unos baños conjuntos para los usuarios externos al PCC y personal del centro. También están en esta planta los vestuarios del personal.

<u>Personas de Movilidad Reducida</u>

Todo el edificio está adaptado para personas con movilidad reducida. Dos ascensores adaptados conectan las plantas del edificio. Todos los pasillos son aptos para el paso y el giro de personas en silla de ruedas. Como hemos mencionado, los aseos están adaptados a PMR.

3.16.3 Instalaciones del Puesto Central de Control (PCC)

El edificio del Puesto Central de Control de la PLMB dispondrá de las instalaciones necesarias, con los niveles de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad adecuados al uso al que se destina.





Todas las instalaciones han sido proyectadas conformes en primera instancia, a las Normas y Reglamentos colombianos aplicables y, de manera complementaria, a las Normas Internacionales.

El edificio dispondrá de las siguientes instalaciones de servicio técnico:

Instalación eléctrica

El edificio estará provisto de un Centro de Transformación con dos transformadores, uno redundante del otro. Para dar suministro eléctrico de emergencia al CPD y al edificio se prevé la instalación de un grupo electrógeno. Para asegurar el funcionamiento de los equipos críticos, se dispondrán dos grupos de equipos UPS trifásicos redundantes entre sí. Se prevén dos sistemas independientes de UPS, uno para el CPD y otro para el resto del edificio.

Se construirá un sistema de tierras único al que se conectarán los siguientes sistemas: neutro de los transformadores, neutro grupo electrógeno, sistema contra rayos, sistema de baja tensión y sistema de media tensión. Se conectarán al sistema de tierras de la instalación todos los elementos metálicos susceptibles de quedar energizados accidentalmente por cualquier descarga eléctrica o electrostática, con el fin de evitar electrocuciones de personas o chispas peligrosas que puedan provocar incendios.

Dado el uso del edificio se determina que es necesaria la construcción de un sistema de protección contra descargas atmosféricas o SIPRA grado 01.

Iluminación

Se dispondrá de un sistema de alumbrado que cumple con los siguientes objetivos: eficiencia energética con el uso de fuentes de luz de tecnología eficiente, niveles de iluminación óptima, confort visual, estética, integración y calidad en los equipos y lámparas.

Se dispondrá de un alumbrado emergencia con el objeto de evitar el pánico y guiar al personal propio y usuarios fuera del edificio o a un lugar adecuado, en caso de fallo del sistema de alumbrado general.

Ventilación y climatización

El sistema de ventilación garantizará unas condiciones óptimas de salubridad mediante la impulsión de aire exterior y la extracción del aire viciado. El sistema también garantizará un adecuado confort térmico en todo el edificio.

El aporte de aire primario de todos los locales climatizados se realizara mediante una red de conductos de impulsión y extracción de aire fabricados en chapa de acero galvanizado.

El aporte de aire primario se conectara directamente a la unidad interior de climatización mientras que la extracción de aire viciado se realizara por medio de rejillas de extracción de aire ubicada a la entrada del local. Los conductos de impulsión y extracción de aire se conectaran a las cajas de ventilación ubicadas en cubierta.

La climatización de los locales se realizará mediante equipos partidos de expansión directa tipo Volumen de Refrigerante Variable de capacidad térmica adecuada a cada local. Las unidades interiores serán de tipo casette ubicadas en techo del local.

Para la ventilación del edificio se han planteado diferentes redes de extracción e impulsión en función de los usos y características de los locales a ventilar.

- Red de extracción de humos en garaje
- Red de extracción de aseos
- 3) Red de extracción de aire de locales técnicos
- 4) Red de extracción de aire
- 5) Red de impulsión de aire

El CPD dispondrá de un sistema de climatización independiente del resto del edificio, al objeto de garantizar al máximo la fiabilidad del mismo. Los equipos de climatización serán de alta eficacia con control micro procesado, capacidad de regulación en temperatura y humedad y sección de filtro de aire. El sistema impulsara aire frio en el falso suelo mientras que el retorno se realizara por la parte superior de los equipos.





• <u>Equipos electromecánicos</u>

Para facilitar la movilidad en el edificio se dispondrán equipos electromecánicos de transporte. Los elementos electromecánicos instalados en el edificio serán ascensores. Los ascensores serán de alimentación eléctrica. Su alimentación será desde grupo electrógeno, por lo que en caso de emergencia se podrán utilizar para la evacuación de personas discapacitadas

• <u>Instalación hidrosanitaria</u>

Se dispondrá la instalación hidrosanitaria necesaria para dotar a los aparatos sanitarios de agua con la suficiente calidad para el consumo humano, así como evacuar las aguas residuales derivadas de su uso. El edificio dispondrá de capacidad suficiente para la acumulación de 1 día de consumo.

Protección contra Incendios

Se dispondrán sistemas de protección contra incendios con los siguientes objetivos: reducir en todo lo posible el riesgo de incendios en edificaciones, detección rápida y efectiva del incendio, evitar la propagación del fuego tanto dentro de las edificaciones como hacia estructuras aledañas, facilitar el proceso de extinción de incendios y minimizar el riesgo de colapso de la estructura durante las labores de evacuación extinción.

La Protección contra Incendios comprende los siguientes Sistemas:

- Sistemas de Extinción (Manual y Automática)
- Sistemas de Detección Automática
- Sistemas de Alarma Manual y Evacuación

Para los sistemas de extinción manual se ha contemplado la dotación de extintores portátiles de diversos tipos y eficacias así como hidrantes interiores (mangueras contra incendio). Los sistemas de extinción automática se implantarán en aquellas zonas de riesgo específico, tales como, centros de transformación, salas UPS, sala CPD, recinto grupo electrógeno, archivo, etc. y se han proyectado mediante sistemas de agua nebulizada diseñados para la protección específica de este tipo de riesgos.

Todo el edificio dispondrá de un sistema automático de detección de incendios, con detectores de humo y/o especiales (aspiración) en función del recinto/área a proteger. Se dispondrán igualmente pulsadores de alarma manual y sirenas acústicas para evacuación del edificio en caso de ser necesario.

3.16.4 Equipamiento del PCC

El objetivo principal en el diseño del Puesto de Control Central de la Primera Línea de Metro de Bogotá ha sido conseguir de manera centralizada la supervisión y gestión remota de todos los sistemas consiguiendo, al mismo tiempo, cumplir todas las exigencias aplicables a un conjunto de sistemas de control modernos. El PCC ha sido diseñado para maximizar los parámetros de calidad, seguridad y rendimiento exigibles en la explotación del tráfico metropolitano cumpliendo con la normativa específica de este tipo de instalaciones.

Todas las informaciones y datos obtenidos por los equipamientos de los diferentes subsistemas serán enviados y centralizados en el Puesto de Control Central, a través del Software de integración Sistema de Mando y Control Centralizado (SMCC) que constituye el cerebro de nuestro PCC y que servirá como núcleo de unión de todos los sistemas y telemandos de la PLMB, al que podrán acceder todos los operadores de la línea dependiendo de su perfil y rol asignado.

Para el diseño de la plataforma tecnológica del PCC previamente se ha realizado un estudio de las tendencias tecnológicas dentro del sector del tráfico metropolitano (ver documento Estudio técnico recomendación plataforma tecnológica). De este estudio se han recabado las soluciones tecnológicas más adecuadas para nuestro PCC basándonos en los criterios generales de diseño de los centros de control, la necesidad de sistemas abiertos y la necesidad de integración entre los sistemas y telemandos implementados con distintas arquitecturas y tecnologías.

Como solución para la integración de los sistemas y subsistemas del PCC para la PLMB se plantea la posibilidad de implementar un sistema de integración para los sistemas y telemandos del PCC utilizando una arquitectura orientada a servicios (SOA) donde cada sistema haga disponible su información a través de un servicio web (WS) y donde se alcance la integración mediante una plataforma ESB o también llamado bus de integración.





La necesidad de disponer de toda la información y la extensa generación de la misma durante la explotación de la PLMB ha obligado a disponer de Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), Bases de Datos de Históricos y de Configuración, y un sistema de almacenamiento de respaldo (SAN) para garantizar la seguridad y disponibilidad de la información almacenada.

Además de estos sistemas debemos regular y controlar el acceso a la información y a los sistemas y telemandos de la PLMB, para ello se utilizarán los sistemas y herramientas soportadas sobre LDAP como son el Single Sign On (SSO), el Sistema Unificado de Gestión de Perfiles y Permisos de Usuario (SUGPPU) y Sistema Unificado de Gestión de Mando (SUGM).

La arquitectura software del PCC basada en los requerimientos técnicos de este tipo de instalaciones se compone de distintos software que ayudaran a la explotación correcta de la PLMB:

- Software Base: Compuesto por los sistemas operativos, software del clúster de servidores, adaptador para el Middleware de mensajería y distintas herramientas auxiliares como correo electrónico, navegador de internet, herramientas informáticas y servicios asociados a la impresión.
- Software de Adquisición: Que se encargará de gestionar los datos procedentes de los distintos sistemas y los detalles de comunicación a bajo nivel con los dispositivos finales supervisados, recoger los datos de operación que estos proporcionan y de escribir sobre ellos las órdenes procedentes del PCC.
- Software de control: constituirá el primer nivel de integración. Su función principal será la gestión y
 el procesamiento de las informaciones y operaciones llevadas a cabo en cada sistema y telemando
 de la PLMB, identificando sus alarmas y eventos, y estableciendo una comunicación e intercambio
 de datos que será constante con los paquetes software de adquisición y de integración, preparando
 la información de los sistemas y telemandos para su posterior visualización.
- Software de Integración: El núcleo principal del software de integración está constituido por la herramienta denominada Sistema de Mando y Control Centralizado (SMCC) que tendrá la funcionalidad de Integrador para la PLMB, dedicada fundamentalmente a la supervisión del estado de las operaciones de todos los sistemas y telemandos del PCC y a la distribución de la información recolectada durante dicha supervisión entre los usuarios de cualquier sistema de control que pueda verse afectado por estos datos.

- Software de Supervisión: El software de supervisión cubre las funcionalidades de la capa de presentación de la arquitectura de los sistemas de control de la PLMB. Puede denominarse también software de presentación ya que su función es la de ofrecer a los operadores de cada sistema de mando y control la visualización de los datos de proceso recolectados y gestionados a través de interfaces gráficas intuitivas y fácilmente utilizables.
- Software de Mantenimiento y Administración: se deberá disponer de varios paquetes de software de mantenimiento y administración de cada uno de los sistemas de mando y control. Estos módulos de software permitirán a los operadores de mantenimiento y a los operadores de los sistemas y telemandos, realizar las modificaciones necesarias en la estructura y configuración de los mismos que surjan durante su ciclo de vida (debido, por ejemplo, a la implementación de nuevas funcionalidades).
- Software de Simulación y Reconstrucción: Se dispondrá de una herramienta para realizar funcionalidades de simulación para todos los sistemas y telemandos. La simulación tiene como principales objetivos ofrecer la posibilidad de realizar acciones de aprendizaje y formación sobre los operadores del PCC y ofrecer la capacidad de realizar pruebas de nuevos desarrollos y funcionalidades que se puedan implementar durante el transcurso de la vida del sistema, sin afectar a la operación del mismo. Los sistemas de mando y control también dispondrán de una herramienta software de reconstrucción y reproducción de acontecimientos y eventos pasados (Ilamada comúnmente moviola). Esta aplicación permitirá visualizar los eventos sucedidos en un intervalo de tiempo pasado y mostrarlos al operador a través de la misma IHM que se usa en el entorno normal de operación.
- Herramientas de Soporte a la Operación: los sistemas de mando y control tendrán una serie de herramientas software que tendrán como finalidad el facilitar la operación del sistema a sus operadores como son las Secuencias de comandos, el Planificador de tareas, las Situaciones predefinidas y las Notas de operador.
- Herramientas de ayuda a la Explotación: Adicionalmente, se utilizarán herramientas que facilitarán la explotación y la gestión integrada de las operaciones y el manejo de los sistemas y las alarmas generadas por los distintos telemandos. Dichas herramientas son las siguientes:
 - Sistema de Gestión y Supervisión de la Explotación (SGSE): El Sistema de Gestión y Supervisión de la Explotación (SGSE) es una herramienta de integración que proporciona una visión global del tráfico de la línea y de sus parámetros básicos asociados y ofrece funcionalidades como Gestión de los planes de Explotación, Monitorización del estado del





tráfico, Predicciones de evolución del tráfico, Predicción de incompatibilidades y Elaboración de diagramas de mallas.

- Sistema Integral de Gestión de Alarmas (SIGA): La herramienta permitirá visualizar, a cada uno de los operadores del PCC, una tabla con la totalidad de las alarmas generadas durante la operación en todos los sistemas de control de la línea para luego operar sobre ellas.
- Ventana de Información Geográfica (VIG): La Ventana de Información Geográfica (VIG) es una utilidad de integración que permitirá representar geográficamente y en tiempo real toda la infraestructura de la PLMB y su material rodante, incluyendo el estado de cada uno de los elementos y los elementos cartográficos que deseemos visualizar o que sean de interés para la explotación de la línea.

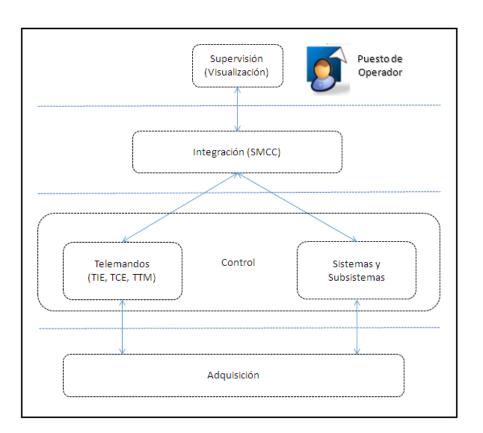


Figura 40.- Arquitectura software del PCC

En nuestro PCC se encontrarán ubicados los equipos y puestos de operación necesarios para llevar a cabo la supervisión y gestión remota de los equipos, pertenecientes a las distintas áreas temáticas controladas (energía, tráfico, seguridad, etc.).

Para garantizar la seguridad y fiabilidad de la explotación de la línea metropolitana se ha estimado conveniente la creación de una réplica del PCC en otro edificio llamado PCC de Respaldo que se ubicará en Talleres y Cocheras.

En el documento "Estudio técnico y funcional hardware y software detallado" se describen los diseños y las soluciones aplicadas en el conjunto de sistemas presentes en el Puesto de Control Central de la Línea. Se detalla el diseño del Puesto de Control Central, el Puesto de Control Central de Respaldo y los Puestos de control de Estaciones y todos los elementos hardware y software comunes a todos los sistemas de control. El PCC permite la explotación global de la línea de forma automática a distancia, conformado por la Sala de Operaciones del PCC y los operadores que desarrollaran sus actividades específicas según su rol, a la cuál irán anexas otras salas que complementarán a la citada Sala de Operaciones con el fin de alcanzar la funcionalidad que requiere este tipo de complejos.

Se enumeran a continuación las salas que conforman el PCC, con una breve descripción de las mismas.

Sala de Operaciones

Es la sala principal del PCC donde se hará la gestión y explotación centralizada del tráfico metropolitano, la atención al cliente y gestión eficiente de las estaciones y energía, para ello dispondrá de los puestos de operadores según la funcionalidad a desarrollar.

Albergará los operadores encargados del Control del Tráfico, la Gestión y Explotación, el Control de la Energía, la información al viajero y la Coordinación y apoyo, además dispondrá de un puesto de reserva para futuras ampliaciones de la línea y un sistema de visualización de tipo Video Wall.

Las funciones que se desarrollan desde la Sala de Operaciones son las siguientes:

- o Control del Tráfico Operadores de Circulación
- Gestión y explotación Operadores de Estaciones
- Control de la Energía Operador de Energía
- Información al Viajero Operador de Ayuda al Cliente
- Coordinación y apoyo Supervisor



Sala de Seguridad – Operadores de Seguridad

Albergará los operadores encargados de la Seguridad de la PLMB y además dispondrá un sistema de visualización de tipo Video Wall para la visualización del sistema CCTV. La funcionalidad de esta sala será la de custodiar la seguridad y buen funcionamiento de la línea, que se conseguirá con aplicaciones de centralización de CCTV, control de accesos, centrales de intrusión, etc.

El operador de Seguridad de la línea encargado de supervisar y coordinar los equipos de seguridad estará situado en la Sala de Seguridad del PCC y en la sala de operaciones del PCCR (llamada sala de P.C.L.T. y P.C.C de Respaldo).

Centro de Procesamiento de Datos (CPD)

Albergará todos los equipos de servidores destinados a los telemandos de la Línea, así como todos los servidores que sean requeridos para ejecutar las aplicaciones de los distintos sistemas de la Línea. Se ubicarán también en el CPD los servidores de las aplicaciones de integración y los distintos sistemas y herramientas software para la correcta labor de los operadores del PCC. En esta sala se guardarán las CPUs y equipos KVM a los que se dará acceso remoto desde los Puestos de Operación de las distintas áreas de trabajo dentro de la Salas del PCC y Salas del PCCR, serán necesarios dos cuartos técnicos CPD, uno para el PCC y otro para el PCCR.

Sala de Mantenimiento – Operadores de Mantenimiento

Albergará los operadores encargados del Mantenimiento de la PLMB. Comprenderá las funciones de Operación y Supervisión de las instalaciones de la línea con el fin de tener siempre monitorizadas todas las instalaciones de la misma.

Los puestos de control de mantenimiento estarán situados en la sala de Mantenimiento del PCC y PCCR.

Sala de Emergencias – Operador de Emergencias

Albergará los operadores encargados de la gestión de incidencias y emergencias de la PLMB.

Los puestos operacionales de gestión de emergencias estarán situados en la sala de emergencias del PCC, desde donde realizarán la coordinación de todos los medios tanto técnicos, materiales, como

humanos que sean necesarios para la gestión de las incidencias que impliquen la seguridad de las personas. Se tendrá accesos a recursos de las administraciones (ambulancias, hospitales, etc).

Sala de Crisis – Operador de Crisis

Albergará los operadores encargados de la gestión de incidencias y emergencias de la PLMB y además dispondrá del mobiliario y equipamiento necesario para la gestión y toma de decisiones en situaciones de crisis.

Los puestos de gestión de crisis estarán situados en la sala de crisis del PCC y la sala de crisis del PCCR, desde donde tendrán visión directa de toda la sala de operaciones y dispondrán de un equipo, que únicamente en una situación de crisis, realizará las actividades de gestión de incidencias y emergencias.

Sala de Presentaciones

Localizada en la Segunda Planta del PCC con visión directa con la sala de operaciones de la Primera Planta, será un espacio con función pedagógica, o de socialización e integración en la población. Permite acoger visitas de estudiantes, escuelas u otro tipo de colectivos como parte del proceso de socialización del metro. Es un servicio de transporte colectivo que debe ser visto como propio, socialmente útil, de gestión transparente y al servicio de la sociedad. Estas políticas de socialización se han demostrado notablemente eficaces para prevenir actos de vandalismo y otros antisociales. Dispondrá del mobiliario y equipamiento necesario para realizar presentaciones los días establecidos para las visitas del PCC.

Sala de Reconstrucción – Operador de Reconstrucción

Albergará los operadores encargados de la Reconstrucción de Eventos de la PLMB. Su funcionalidad será proporcionar una herramienta para el control de los trabajos de explotación de la línea y para la resolución y gestión de Incidencias. Dispondrá del mobiliario y equipamiento necesario para la supervisión de las incidencias ocurridas y la visualización de las imágenes grabadas de la PLMB.

Los puestos operacionales de Reconstrucción de Eventos estarán situados en la sala de Reconstrucción de Eventos en el PCC y la sala de Reconstrucción de Eventos en el PCCR (llamada Oficina de Apoyo al PCC), desde donde realizarán las actividades descritas al inicio de este apartado.





Sala de Simulación y Formación

Albergará los puestos de formación y entrenamiento de cualquier tipo de operador de la PLMB, además del puesto de instructor de los operadores en formación. Su funcionalidad será proporcionar a los operadores conocimientos sobre los subsistemas de tiempo real. La sala albergará un terminal de reconstrucción que permitirá repetir a un operador una singularidad ocurrida en uno de sus sistemas gestionados en un entorno controlado a posteriori y tantas veces como sea oportuno.

Sala de Billetaje – Operador de Billetaje

Albergará los operadores encargados del Billetaje de la PLMB, donde se desarrollará todo lo relacionado con la gestión de tickets y billetaje.

Los operadores de Billetaje estarán situados en la Sala de Billetaje del PCC y la Sala de Billetaje del PCCR.

Administración

Localizadas tanto en el PCC como PCCR serán el espacio destinado a oficinas que albergará al personal administrativo (despachos, contabilidad, recursos humanos, etc.).

• Control Local de Talleres y Cocheras

El Puesto de Control Local de Talleres y Cocheras estará situado en la Sala de Operaciones del PCCR (llamada sala de P.C.L.T. y P.C.C de Respaldo).

Se necesitará 1 puesto de control Local de Talleres en la sala de operaciones el PCCR.

El Puesto de Control Local de Talleres y Cocheras se encargará del control y supervisión de las instalaciones de Talleres y Cocheras como su propio nombre indica, estará formado por un conjunto de pantallas en las que se representará el complejo de talleres y cocheras con todos sus elementos de campo (señales, accionamientos, Circuitos de Vía, bloqueos), de manera que permitirá a su operador la supervisión de estado y el mando del enclavamiento de talleres y cocheras, posibilitando así la visualización y control de todos los elementos de campo (accionamientos, señales, circuitos de vía, bloqueos, etc.) asociados a los talleres y cocheras.

Control de Estaciones

Los jefes de estación estarán situados en los cuartos de jefe de estación en cada estación de la PLMB.

El control de las instalaciones y sistemas presentes en las estaciones de la PLMB se realizará desde este puesto de trabajo único ubicado en todas las estaciones de la Línea.

• Control de Zona

La función principal de control de zona será coordinar 4 estaciones, pudiendo estar en cualquiera de las 4, según demanda. Se encargará de la coordinación en campo de las averías, bajo demanda, es por ello que podrá estar en cualquiera de las 4 estaciones bajo su supervisión.

Los jefes de zona estarán situados en los cuartos de jefe de zona en cada estación de la PLMB.

Será necesaria la existencia de 1 puesto de Control de zona en el cuarto de jefe de zona de todas las estaciones de la PLMB.

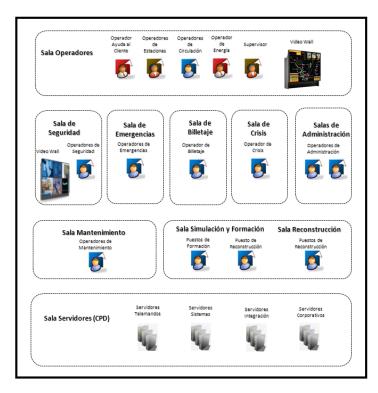


Figura 41.- Esquemático de salas operativas del PCC





En las comunicaciones en el PCC, se deberán conectar todos los sistemas, puestos de operación, bases de datos, dispositivos de visualización e impresión, etc., que estén implicados en la gestión y control de las instalaciones del PCC.

En todas las redes se deberán proporcionar mecanismos de seguridad para el acceso a los sistemas y aplicaciones, así como a los dispositivos en tiempo real, desde cualquier parte de la red abierta del sistema de comunicaciones. Esta protección podrá ser gestionada mediante firewalls y software con características específicas de protección de la red.

Para el correcto funcionamiento del PCC de la PLMB la Red de Comunicaciones se segregará en las siguientes redes:

- Red de tiempo real para la comunicación entre los elementos de campo de los sistemas y telemandos con los servidores del CPD.
- Red de servidores para la comunicación entre los servidores de los sistemas y telemandos con el servidor del SMCC.
- Red de operación para la comunicación entre los servidores de los sistemas y telemandos con los terminales y puestos de trabajo de los operadores del PCC.
- Red de mantenimiento para la comunicación de los operadores de mantenimiento con los servidores del PCC.
- Red de simulación para la comunicación de los servidores del PCC con los terminales y puestos de formación, simulación y Reconstrucción.
- Red de visualización para la monitorización de los Video Walls en las salas de operadores y seguridad del PCC.
- Red corporativa para los terminales (PCs Corporativos) para los puestos de trabajo del PCC.

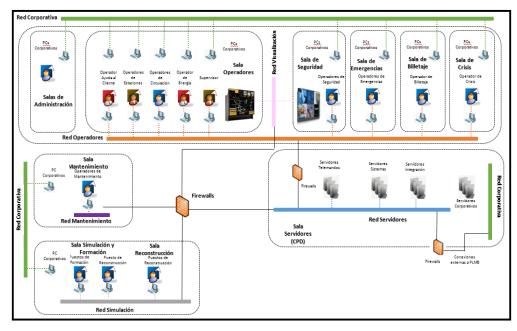


Figura 42.- Arquitectura Física del PCC

Para una correcta labor de los operadores descritos anteriormente, se definen en el documento los perfiles y roles de operación para los operadores de cada área de trabajo, de manera que usuarios distintos dispongan también de distintos privilegios y capacidades dentro del sistema, atendiendo al nivel de responsabilidad que cada uno de dichos usuarios ocupa dentro del PCC.

Se exponen los distintos modos de operación que se contemplan para los sistemas de mando y control presentes en el PCC de la PLMB y se distingue entre los modos de operación nominales (que serán los habituales durante todo el ciclo de vida de los sistemas) y los modos de operación degradados (que se ejecutan ante la aparición de fallos e incidencias en elementos de los sistemas que dificultan o imposibilitan los anteriores).

Se describe también el entorno de operación puesto a disposición de los distintos operadores del PCC de la PLMB para poder llevar a cabo todas las funcionalidades de cada uno de los sistemas descritos en los correspondientes documentos y telemandos descritos específicamente en este mismo documento, como son el acceso al sistema, el relevo en las operaciones, la presentación de los datos tanto en las aplicaciones nativas como el sistema integrador SMCC, el envío de Órdenes a los Dispositivos, la Gestión de Eventos y Alarmas, los Tipos de entorno de Operaciones y la Simulación, Reconstrucción y Monitorización Remota.





Además se describirán procedimientos de toma y cesión de mando (también denominados de gestión de mando) que serán los métodos o las maneras mediante las cuales se permite la atribución dinámica de responsabilidades en una aplicación, herramienta o programa. La idea que subyace a los mismos consiste en que el propio subsistema proporcione las facilidades necesarias para que cada una de las partes de que se compone el mismo (o cada una de las funcionalidades que ofrece) sea gestionada por uno u otro responsable (persona o ente).

Este documento incluye todas las fichas técnicas de los equipos que deberán tenerse en cuenta a la hora de instalarse para la correcta explotación de la línea desde el PCC, PCCR y Estaciones y los planos necesarios para localizar los puestos de operadores y los edificios y cuartos técnicos de PCC, PCCR y Estaciones que se han descrito, además de los criterios de ergonomía que se han seguido para el diseño y localización de estos puestos de operación.

El documento "Estudio técnico y funcional hardware y software detallado" es la descripción del núcleo de la explotación de la PLMB, lo que hemos llamado PCC, su réplica PCCR, su cerebro de operaciones llamado SMCC y los actores principales que intervienen en dicha explotación de la PLMB, para ello incluye y describe toda la arquitectura hardware y software implicada además de los sistemas de telemandos que se utilizarán durante la explotación.

3.17 Diseño urbano paisajístico

Los Diseños Urbano-Paisajísticos del corredor de la PLMB (Tramos 1, 2, 3 y 4), se definieron con base en los lineamientos de las políticas distritales sobre la adecuación y restitución del espacio público, la prevalencia de lo público y colectivo, la eco-eficiencia urbana en cuanto a la infraestructura y el uso del espacio y la transformación positiva del territorio, para lo cual se generaron espacios de calidad para todos los tipos de usuarios.

El diagnóstico se enfocó en la identificación de los componentes del espacio público, así como su estado actual, para lo cual se definieron cinco temas macro para analizar el entorno de acuerdo con sus componentes y dimensiones, así como para identificar los elementos a conservar y aquellos que se deben restituir:

- Localización General: se describió la ubicación de cada estación en escala distrital y local.
- Dinámicas Urbanas: se identificaron los aspectos económicos, sociales y urbanos, que definen las actividades relevantes, los diferentes tipos de usos de suelo y su interacción con el sector.
- Movilidad y Mobiliario Andenes: se describió la estructura de la malla vial, el flujo y la dirección de los diferentes modos de transporte. Adicionalmente, se identificó el estado de la infraestructura de espacio público asociada.
- Medio Ambiente y Espacio Público: se identificaron las áreas clasificadas como espacio público que serán intervenidas por la PLMB, así como los componentes ambientales que hacen parte de la estructura ecológica principal, las condiciones relevantes del sector y el arbolado.
- Áreas de intervención: Se establece el área de intervención donde se identifican las zonas de restitución, las zonas proyectadas, los predios que deberán ser adquiridos y particularidades sobre el espacio público que se tendrán en cuenta para el diseño.

El Consorcio L1 evaluó la situación actual del área de influencia en un radio de 500 metros, para determinar los polos atractores más relevantes del sector de cada estación. Sin embargo, el diseño urbano-paisajístico se acotó al espacio público que será efectivamente intervenido, asociado a las estaciones y sus accesos, de conformidad con lo estipulado en el alcance de los Términos de Referencia.

Como parte del diagnóstico, también se analizó el estudio de flujos para usuarios del espacio público, el cual fue realizado por el consultor experto STEER DAVIES GLEAVE y tuvo como objeto el análisis de





flujos y modos de transporte asociado a las bocas de acceso para las 27 estaciones de la PLMB, bajo los siguientes criterios de evaluación:

- Volúmenes de usuarios del espacio público,
- Velocidad de marcha de los usuarios del espacio público.
- Estudios de brechas de tránsito y determinación de brecha mínima segura.
- Análisis de conflicto con los vehículos.

A partir de la evaluación de la situación actual identificada en diagnóstico, se definieron cinco unidades de paisaje, donde cada una comprende una sección del corredor que presenta una configuración homogénea en términos estructurales, funcionales, usos de suelo, ambientales y/o perceptuales:

- A. Portal Américas Hortúa:
- B. Hortúa La Rebeca
- C. Parque Nacional Avenida Chile
- D. Avenida Chile Calle 100
- E. Usaquén Calle 127

El diseño se enfocó a partir de estas unidades de paisaje, para articular y conectar el tejido urbano propuesto con el existente.

La PLMB, representa una oportunidad de renovación del tejido urbano bajo los lineamientos para los Proyectos Urbanos Integrales (PUI) y del Desarrollo Orientado al Transporte Sustentable (DOTS). De acuerdo con lo anterior, se definió el carácter del espacio propuesto para las áreas a intervenir en la superficie de las estaciones e instalaciones asociadas, bajo los siguientes criterios:

- Dar prioridad a los peatones, los medios de transporte no motorizados y consolidar la intermodalidad con el Sistema Metro.
- Evitar la fragmentación urbana a través del corredor a partir de una conformación espacial homogénea
 y articulada entre lo existente y lo propuesto.
- Generar continuidad del espacio público para facilitar la gestión del suelo por parte del Distrito.
- Generar espacios públicos activos y de calidad que permitan el desplazamiento seguro, cómodo y autónomo, orientado a los distintos tipos de usuarios de los mismos.

- Áreas con accesibilidad incluyente para todo tipo de población.
- Consolidación del espacio público relacionado con hitos urbanos, a partir de infraestructura adecuada que permita su adecuado uso y/o aprovechamiento.
- Integración de los diferentes componentes del sistema de movilidad, de amoblamiento, componentes ambientales y funcionales (redes y servicios).
- Evitar o proponer soluciones para los espacios residuales.

Así mismo, las características del diseño urbano-paisajístico se definieron para dar respuesta a los requerimientos en el aspecto social, ambiental, de eficiencia y sostenibilidad:

- Accesibilidad al medio físico de personas con movilidad reducida o discapacidad visual: adecuación de andenes, implementación de rampas y gradas, franja táctil y semáforos.
- Circulación continua, fluida y libre de obstáculos: adecuación y consolidación de andenes, plazas y plazoletas, implementación de luminarias, así como la adecuada articulación del espacio público relacionado con las bocas de acceso al metro.
- Integración adecuada del sistema de movilidad: intermodalidad mediante bahías de buses, bahías para taxis, paraderos SITP, estaciones de Transmilenio, ciclorrutas y ciclo-parqueaderos. La integración de cada componente del Sistema de movilidad y las estaciones.
- Integración adecuada de los componentes de amueblamiento con la franja de circulación: implementación de bolardos, canecas, semáforos, luminarias y arbolado, configurados de tal manera que no se interfiera con la circulación continua y generen confort para los peatones.
- Reconfiguración de perfiles viales: ampliación de las superficies duras y semiduras destinadas al flujo peatonal, recuperación y propuesta de áreas verdes, adecuación de andenes, ciclorrutas, separadores y calzadas.
- Conectores verdes urbanos: Composición del arbolado urbano propuesto con especies nativas que son aptas según el espacio público a arborizar y distribuidas de forma homogénea a lo largo del corredor. Se plantearon estrategias para mejorar las condiciones ambientales dentro de las zonas de recorrido de la PLMB, mediante la definición de espacios urbanos de estancia y recorrido, complementados de manera equitativa con arbolado urbano como elemento constitutivo de un conector verde, que se integrará y fortalecerá la red ambiental del distrito.
- Materiales y elementos del espacio público: se seleccionaron componentes bajo el criterio de eficiencia en el ciclo de vida, es decir, de acuerdo con los principios de bajo consumo de recursos por





- alta durabilidad del material y/o elemento, resistente a las condiciones a la que está expuesto y que requieren bajo mantenimiento, evitando el uso de recursos adicionales.
- Bienes de interés cultural: se hizo énfasis en la preservación de inmuebles de interés cultural y monumentos que se encuentran dentro del corredor de PLMB, al igual que en la restitución de espacios públicos en buen estado y la consolidación de aquellos en mal estado o no definidos.

Adicionalmente, se definieron proyectos sobre las zonas de culatas y remanentes de predios (espacios residuales), que le permitan a las entidades distritales generar a largo plazo, estrategias de aprovechamiento en espacios de oportunidad con el fin de crear dinámicas de progreso en los sectores de influencia:

- Adquisición de predios adicionales: asegurar el área mínima necesaria, para generar la adecuada reconfiguración del espacio, con la implementación de equipamientos de tipo dotacional o comercio, de acuerdo con las necesidades del sector.
- Actuaciones temporales: se plantea para corto plazo en espacios residuales generados, para realizar actividades de manera itinerante de expresión cultural, ambiental, social y política generadas desde la comunidad, como por ejemplo jardines verticales y/o murales artísticos.
- Apertura de fachadas: realizar la reconfiguración del espacio adyacente al predio, a partir de la implementación de una franja de circulación que se conecte con el nuevo acceso a los predios y promuevan el recorrido por el mismo.
- Reconfiguración de paramentos: en los predios para demolición que cuenten con el área suficiente para ser edificados, se propone normalizar la línea de paramento y se desarrollar proyectos que den fachada a los espacios públicos resultantes, así como la implementación de equipamientos de tipo dotacional y/o comercio según aplique.

Para la fase de anteproyecto se definieron los planos generales de diseño arquitectónico, urbanístico y paisajístico, donde se representan los tratamientos propuestos de acuerdo con los siguientes ítems:

- Diseño de las superficies duras y semiduras.
- Movilidad.
- Mobiliario urbano.
- Estructuras especiales.
- Acabados y modulaciones.

- Intervención de bienes de interés cultural.
- Arbolado.
- Esquinas y bocacalles típicas y atípicas o especiales.
- Integración con el entorno.
- Plantas y alzados generales del diseño propuesto.
- Perfiles arquitectónicos transversales y longitudinales.

Como propuesta de proyecto, se definieron secciones especiales del corredor que presentaran alguno de los siguientes criterios:

- Consolidación de cruces viales.
- Reconfiguración de andenes.
- Cicloparqueaderos.
- Salidas de emergencia del Sistema Metro.
- Afectación por la curva del túnel del corredor PLMB.
- Desmonte de puentes peatonales y diseño de cruces peatonales a nivel.

Así mismo, se definieron detalles de diseño, los cuales se incluyeron dentro de la "Cartilla de Elementos, Mobiliario, Tramos Típicos y Mantenimiento PLMB" para vincular de forma específica, el proyecto PLMB con el tejido urbano existente. La cartilla presenta la información en detalle sobre materiales y el sistema constructivo de los componentes del espacio público, implementados en el diseño de las superficies a intervenir por el corredor del Sistema Metro y contempla:

- A: Piezas Prefabricadas.
- M: Mobiliario Urbano.
- B: Tramos Típicos.
- C: Procesos Constructivos
- D: Arbolado Urbano.

Dicha cartilla se definió a partir de las Cartillas Técnicas elaboradas por parte de las entidades encargadas del espacio público, como: Taller del Espacio Público, Secretaría Distrital de Planeación (SDP), el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y el Jardín Botánico. En algunos casos, los componentes implementados fueron extraídos con las mismas características y especificaciones presentadas en las





cartillas mencionadas anteriormente: la Cartilla de Mobiliario Urbano (2007) y la Cartilla de Andenes (2007).

Dentro de los diseños urbano-paisajísticos, también se contempla el Ramal Técnico conocido como Tramo 0, el cual comprende un recorrido desde el actual predio Bosa 37, donde se ubicarán los Patios y Talleres para el mantenimiento de los trenes de la PLMB, hasta la primera estación del Tramo 1: Portal Américas.

Para este caso, se realizó el mismo procedimiento sobre diagnóstico, anteproyecto y proyecto mencionado anteriormente, donde se ajustó el alcance al contexto del espacio público del Ramal. Adicionalmente, el diseño se enfocó en la integración de los proyectos de espacio público que se articulan actualmente con el área de influencia:

- Avenida Longitudinal de Occidente ALO
 La avenida Longitudinal de Occidente (ALO) se proyecta como un corredor vial de Bogotá, que hace parte del Sistema del Plan Vial para la Malla Arterial Principal.
- Megaproyecto Río Bogotá
 El Megaproyecto Río Bogotá tiene como objetivo definir estrategias que aporten al saneamiento y la adecuación hidráulica del Río Bogotá.
- Plan Maestro del Parque El Porvenir
 El predio Gibraltar, antiguo relleno sanitario y también conocido como parque El Porvenir, hace parte de la red de parques de escala metropolitana, teniendo en cuenta que su superficie libre comprende un área mayor a 10 hectáreas. Por esta razón dentro de los planes de desarrollo del distrito para la estructura ecológica principal, su uso debe estar destinado a recreación activa y/o pasiva bajo lineamientos paisajísticos y ambientales.

Los demás lineamientos de diseño, se estructuraron de conformidad con los criterios establecidos para la totalidad del corredor de la PLMB (Tramos 1, 2, 3 y 4).

3.18 Desvíos de tráfico

Se realizó un análisis preliminar de las interferencias que tendrán las actividades de construcción del proyecto sobre la Primera Línea de Metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con la movilidad de la ciudad, para contemplar estrategias a implementar, que permitan reducir los impactos en el tránsito y así poder realizar estimaciones de presupuesto.

Para ejecutar estos trabajos, se estudiaron y analizaron los posibles conflictos que generará la construcción de la PLMB, para lo cual se llevó a cabo un análisis de los sentidos viales, carriles vehiculares, impactos al tráfico y soluciones para su mitigación.

El trabajo inició con una fase de campo, para conocer las características de movilidad de cada uno de los tramos afectados por la construcción y con ello definir propuestas tanto de señalización como de infraestructuras que ayuden a reducir los impactos en el tránsito de la ciudad.

En el análisis realizado por el Consorcio L1, fueron planteados algunos desvíos por vías locales en buen estado y con capacidad para recibir automóviles. Se encontró que algunos sectores requieren la construcción de pasos vehiculares en calles que actualmente se encuentran cerradas y que mejoraría la circulación de la ciudad.

Se elaboraron planos con señalización de primer, segundo y tercer nivel (desvíos de largo, medio y corto recorrido) para la elaboración de un Plan de Manejo Tránsito (PMT), así como la señalización y desvíos preliminares, que puedan servir como base para la dimensionar las estrategias que se deben implementar.

Para los Tramos No. 3 y 4, a partir de la estación Gran Colombia, el método constructivo definido fue túnel entre pantallas, para lo cual se plantearon frentes de obra para su construcción, en diferentes sectores distribuidos uniformemente a lo largo del trazado, con el fin de minimizar el impacto en la movilidad para todos los usuarios de las vías afectadas.

El trabajo también contempló el análisis de los desvíos viales que han de implementarse durante las obras de construcción, así como una posible programación de frentes de obra que eviten traumatismos





en la movilidad de la ciudad, de modo que se optimicen los recursos y las velocidades de circulación en la red en general.

También se realizó un estudio específico del tramo No. 4, en el sector de la carrera 9^a, donde se encuentra la vía del ferrocarril de La Sabana, pues la Agencia Nacional de Infraestructura-ANI, solicitó una propuesta de desvío de su trazado para poder realizar la construcción de las pantallas y estaciones, que se encuentran debajo de la vía del tren, dificultando su construcción. La ANI sugirió que se aplicaran las normas Europeas para el diseño del desvío, debido a que en el país no existen normas de diseño y en todos los casos se trabaja con normas internacionales.

De igual forma, se elaboró el presupuesto para la ejecución del PMT, el cual contempla estudios, señalización, obras requeridas y gastos administrativos durante la construcción de la PLMB. Se tuvieron en cuenta todos los costos de obra, personal, administrativos, directos e indirectos que surgirán en la ejecución del Plan de Manejo de Tránsito del Metro de Bogotá para una duración estimada de 5 años.

El estudio también contemplo la elaboración de las Especificaciones Técnicas para la elaboración, implementación y seguimiento para el Plan de Manejo de Tránsito del Metro de Bogotá, el cual contempla todas las obligaciones que deberá seguir el contratista encargado de dicho trabajo.

3.19 Interferencias con redes

3.19.1 Redes Secas

El diagnóstico de interferencias realizado se basó en la información recolectada de las empresas y en terreno en septiembre de 2013 y teniendo en cuenta el estudio de geotecnia de hacer los tramos 1, 2 y 3 (hasta Gran Colombia) por medio de tuneladora y los tramos 3 (desde Gran Colombia hasta Lourdes) y tramo 4 mediante pantallas de concreto. Este diagnóstico se basó en el diseño de trazado, el Decreto en donde se determina la ubicación de estaciones y el diseño presentado de salidas de emergencias y de renovación urbanística y paisajística propuesta en este estudio. Adicionalmente, se diagnosticaron las redes que se encuentran en los sitios donde se plantean hacer tratamientos superficiales del túnel, para que no se afecten las redes en el momento de la construcción.

Es así como antes de iniciar la construcción el constructor deberá:

- Validar la propuesta de trazado, ubicación de estaciones y salidas de emergencia y renovación urbanística y paisajística propuesta en este estudio.
- Validar la propuesta de método constructivo.
- Validar los lugares en los que se requiera hacer tratamiento superficial del túnel, verificando la ubicación exacta de las redes de acuerdo a los diagnósticos presentados en este estudio en la memoria 4, para que en los sitios donde se realice el tratamiento no se afecten las redes.
- Validar nuevamente el diagnóstico de interferencia en terreno y con las Empresas de Servicios Públicos para asegurar que se construya con la información más actualizada disponible de las redes. En el caso en el que se modifique la propuesta de trazado, ubicación de estaciones y salidas de emergencia y renovación urbanística y paisajística propuesta en este estudio o la propuesta de método constructivo, se deberá desestimar las interferencias que dejen que presentarse por las modificaciones y hacer una recolección de información en campo con las empresas y de la infraestructura y redes que interfieren con la construcción.
- Solicitar y verificar en terreno los cambios que se hayan ejecutado en las redes las Empresas de Servicios Públicos, los operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y el IDU desde septiembre de 2013.
- Solicitar los planes de expansión de las empresas de servicios públicos, los operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y el IDU desde septiembre de 2013.
- Realizar mesas de trabajo con las empresas de servicios públicos, los operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y el IDU, para hacer los diseños definitivos de los traslados de redes de servicios públicos, teniendo en cuenta todas las afectaciones existentes y proyectadas todas las redes e infraestructura y hacer un diseño de solución de las interferencias que beneficie a todos afectados. En el caso en el que se modifique la propuesta de trazado, ubicación de estaciones y salidas de emergencia y renovación urbanística y paisajística propuesta en este estudio o la propuesta de método constructivo, se deberá desestimar las soluciones a las interferencias que dejen que presentarse por las modificaciones y realizar un nuevo diseño de solución con las empresas.
- Establecer un cronograma teniendo en cuenta los tiempos de cada una de las empresas y el orden que se requiere para la ejecución del proyecto.
- Tener protocolos con las empresas en el caso de que se presente algún daño en las redes debido a errores en la construcción o diagnóstico de las redes.





- Cumplir con las normas constructivas y reglamentaciones vigentes a la fecha de la construcción.
- Desagregar los costos asociados a la construcción del metro con los que se tengan para modernización de la infraestructura.
- Descontar los costos que la CREG reconoce a las empresas de servicios públicos por las expansiones y modernización de la infraestructura.
- Revisar los presupuestos, de acuerdo con los cambios que se hagan en los diseños, método constructivo y diagnóstico de interferencias que no se contemplaron en estos estudios.

Para la elaboración del diagnóstico, se hicieron las siguientes actividades:

- a. Levantamiento Topográfico
- b. Recolección de información de redes existentes y de planes de expansión
- c. Recolección de información de campo
- d. Consolidación datos en un sistema de información geográfica
- e. Diagnóstico de interferencia de redes de servicios públicos
- f. Propuesta de solución de interferencias
- g. Recolección de normas técnicas y procedimientos
- h. Recolección de los protocolos de gestión con cada una de las empresas
- i. Establecimiento del cronograma de ejecución
- Modelo de implementación de información geográfica

Se realizó una caracterización general del área de estudio, que inició con la revisión de la información preliminar existente y la suministrada por entidades distritales, responsables de los servicios públicos y los operadores de red. Así mismo, se realizaron visitas a campo, recolección de datos, el registro de los elementos de estudio y el registro fotográfico.

a. Levantamiento topográfico

El Consorcio L1 realizó el levantamiento topográfico con comisiones de inspección de campo en el corredor de 60 metros de anchura a lo largo del trazado de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB). En la recolección de información se identificaron las redes e instalaciones de servicios públicos, de telecomunicaciones, semaforización y Transmilenio, y en general todo el mobiliario urbano que se encuentre en el trazado.

b. Recolección de información de redes existentes y planes de expansión

El Consorcio L1 realizó la gestión ante el IDU, las empresas prestadoras de servicios públicos, los operadores de telecomunicaciones, semaforización y Transmilenio para obtener los planos de las redes existentes y proyectos de expansión previstos en el corredor de 60 metros a lo largo del trazado de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB).

c. Recolección información de campo

El Consorcio L1 realizó el levantamiento y georreferenciación con comisiones de inspección de campo en el corredor de 60 metros a lo largo del trazado de la PLMB. En la recolección de información se identificaron los atributos de las redes e instalaciones de servicios públicos, de telecomunicaciones, semaforización y Transmilenio, utilizando como referencia los levantamientos topográficos, planimétricos y altimétricos.

d. Consolidación datos en un sistema de información geográfica

El Consorcio L1 integró toda la información recolectada, en un Sistema de Información Geográfica el cual se utilizó para realizar el diagnóstico y las propuestas de solución a las interferencias de cada una de las empresas de servicios públicos, operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio.

e. Diagnóstico de interferencia de redes de servicios públicos

Recolectada la información de las empresas y de campo, el Consorcio L1 realizó el análisis de interferencia de redes de servicios públicos y semaforización en el corredor de 60 metros a lo largo del trazado de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB).

f. Propuesta de solución de interferencias

Tomando el diagnóstico como base, el Consorcio L1 planteo alternativas de desvío de redes de acueducto y alcantarillado. Adicionalmente, se realizaron mesas de trabajo con cada una de las empresas de servicios públicos, operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y la Interventoría con el fin de aprobar el diagnóstico realizado, establecer los parámetros técnicos para los diseños, se analizaron las ingenierías propuestas de solución de las interferencias de redes de servicios públicos y se determinaron los precios unitarios y cantidades para calcular los presupuestos.

g. Recolección de normas técnicas y procedimientos





En las mesas de trabajo que realizó el Consorcio L1 con cada una de las empresas de servicios públicos, operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y la Interventoría con el fin de aprobar el diagnóstico realizado, establecer los parámetros técnicos para los diseños, se consolidaron las normas técnicas y procedimientos de cada una de las entidades afectadas.

h. Recolección de los protocolos de gestión con cada una de las empresas

En las mesas de trabajo que realizó el Consorcio L1 con cada una de las empresas de servicios públicos, operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y la Interventoría con el fin de aprobar el diagnóstico realizado, establecer los parámetros técnicos para los diseños, se estableció las gestiones que debe realizar el diseñador y constructor final con cada una de estas empresas para ejecutar los trabajos de solución a las interferencias de redes identificadas.

i. Establecimiento del cronograma de ejecución

En las mesas de trabajo que realizó el Consorcio L1 con cada una de las empresas de servicios públicos, operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio y la Interventoría con el fin de aprobar el diagnóstico realizado, establecer los parámetros técnicos para los diseños, se estableció el cronograma que debe realizar el diseñador y constructor final con cada una de estas empresas para ejecutar los trabajos de solución a las interferencias de redes identificadas.

j. Modelo de implementación de información geográfica

El Consorcio L1 diseñó el Sistema de Información Geográfica del Metro de Bogotá (SIGME), en donde se integró toda la información recolectada, se tiene el diagnóstico y las propuestas de solución a las interferencias de cada una de las empresas de servicios públicos, operadores de telecomunicaciones, semaforización, Transmilenio.

Fue desarrollado el diagnóstico detallado de las posibles interferencias con la construcción y operación de la PLMB, el plan de acción y alternativas para solucionar dichas interferencias, los prediseños de reubicación de redes de servicios públicos domiciliarios con los presupuestos preliminares que implique su traslado, construcción, mantenimiento y puesta en servicio. Además presenta los protocolos y cronogramas de gestión ante las entidades correspondientes, tanto para su diseño definitivo como para su traslado y/o construcción.

3.19.2 Redes Húmedas.

Específicamente, para la solución de interferencias de las redes de acueducto y alcantarillado, fue tenida en cuenta la normatividad vigente de la EAB, de la cual, fueron definidos los criterios técnicos a tener en cuenta para la evaluación de la condición de las redes existentes y posteriormente el cálculo de las propuestas de solución de interferencias, las siguientes tablas resumen los diámetros de las tuberías a construir para realizar los desvíos tanto para Acueducto, Alcantarillado Pluvial y Sanitario/Combinado.

TIPO-Material/φ	12"	16"	18"	20"	24"	27"	30"	42"	48"	60"	78"	Total general
Expresa		8	208	448		1,072	1,662		746		137	4,280
CCP		8	208	448		1,072	1,662		746		137	4,280
Transmisión	343	176		183	444	366	295	796	1,292	34		3,930
CCP	218	176		183	444	366	295	565	1,292	34		3,575
PVC	124							231				356
Longitud Total general	343	185	208	631	444	1,438	1,957	796	2,038	34	137	8,210

Tabla 40.- Resumen general de longitud de tuberías de solución de interferencias. Acueducto Red Matriz





φ/ Material	Acero	Concreto	Concreto	Concreto sin	PVC	Total
		ExtraReforzado	Reforzado	Refuerzo		general
1.00		34	178	721	318	1,251
1.10		180	761			941
1.20			151			151
1.30			40	6		46
1.40			95			95
1.50			276	54		330
1.70			54			54
10"				42		42
12"				771	471	1,242
14"		78		721	150	949
16"		68		1,375	388	1,832
18"		43		601	477	1,121
20"		226	879	1,271	100	2,475
24"		41	46	282	72	440
27"		28		1,147		1,175
28"		54	23	360		437
30"		23		728	430	1,181
32"		84	1,318	244		1,646
36"		139		390	298	827
4"					229	229
6"	48					48
8"	26		252			278
Total	75	4 000	4.070	0.740	2,93	40.704
general	75	1,000	4,073	8,712	2	16,791

Tabla 41.- Resumen general de longitud de tuberías de solución de interferencias. Alcantarillado Pluvial

φ / Material	Acero	Concreto ExtraReforza do	Concreto Reforzado	Concreto sin Refuerzo	PVC	PVC Perfil Abierto	Total general
Combinado		178	3,359	10,759	12,301	422	27,019
1.00				83			83
1.10			627				627
1.20			110		68		178
1.30			249		240		489
1.40			33				33
1.50			637	86	577		1,300

		Concreto	Compresso	Concreto		DVC Darfil	Total
φ / Material Acer		ExtraReforza	Concreto	sin	PVC	PVC Perfil	Total
,		do	Reforzado	Refuerzo		Abierto	general
1.60			263	36			299
1.80			59				59
10"		10		753	960		1,723
12"		168	3	2,420	2,840		5,431
14"				493	922		1,415
16"				2,438	1,294		3,733
18"			110	1,378	1,664		3,151
2.00			59				59
2.30			33				33
2.45			68				68
20"				617	1,068		1,685
24"			436	961	949	77	2,424
26"					56		56
28"			425	241	88		754
30"				103			103
32"			39	126		345	510
36"			207	380	355		942
8"				643	1,220		1,863
Sanitario	130	418	505	6,292	6,026		13,372
1.20			148				148
10"		207		1,183	565		1,954
12"				1,430	286		1,715
14"		96		155			251
16"	110			751	187		1,049
18"				569	1,036		1,606
2.05			169				169
2.50		116					116
20"				602	377		979
24"				297	61		358
27"					421		421
28"				322			322
32"					62		62
36"			187	124			312
4"	19						19
8"				859	3,032		3,890
Longitud	130	596	3,864	17,052	18,328	422	40,391
		596 de longitud de tub	•				

Tabla 42.- Resumen general de longitud de tuberías de solución de interferencias. Alcantarillado Combinado/Sanitario





Adicionalmente, se requiere de la construcción del orden de 436 pozos de alcantarillado pluvial y de 1.091 pozos de alcantarillado Combinado y Sanitario. De igual forma se propone la construcción de dos cruces tipo Sifón Invertido para la solución de interferencias en las Estaciones de La Rebeca y Lima con redes de alcantarillado Combinado.

Se contará con una estación de bombeo de alcantarillado Sanitario/Combinado en la estación Las Américas y provisionalmente (durante la ejecución de las obras), dos estaciones de bombeo en la Estación Villavicencio.

3.20 Predios

La implementación del túnel para el corredor de la PLMB, así como la ubicación de estaciones y sus instalaciones asociadas (ventilaciones, salidas de emergencia y accesos), implicará la intervención del espacio público, al igual que de predios y/o inmuebles que se encuentren ubicados dentro del área de intervención directa. Es importante que dicha afectación se encuentre contemplada dentro de las zonas de reserva del distrito, teniendo en cuenta el impacto y el potencial de transformación urbana que representa este proyecto, para definir estrategias de renovación que consoliden la estructura ecológica principal, la estructura funcional de servicios y la estructura socio - económica y espacial.

El objeto de este capítulo, es presentar las áreas necesarias para la implementación del Sistema Metro, con el fin de ser incluidas (en el caso que no estén actualmente contempladas), dentro de las zonas de reserva de la ciudad, lo cual le permitirá a la administración adoptar las estrategias pertinentes para el bienestar general de los Bogotanos, como también conocer el costo real de implementar estas soluciones.

El Proyecto de ingeniería básica avanzada se compone de 27 estaciones distribuidas en la Primera Línea de Metro de Bogotá, zonas de salida de emergencia, sector de túnel, patios y talleres. La PLMB tiene una longitud de trazado de 26,46 Km, que inicia en la estación Américas y termina en la Calle 127.

El alcance de este capítulo es presentar el inventario de unidades prediales en reserva a fin de ser estudiadas y valoradas para su adquisición, se delimitará en la zona aferente al Metro, estaciones, accesos, salidas de emergencia y/o zonas afectadas por servicios públicos a cada lado del eje del trazado de la Primera Línea de Metro de Bogotá.

Ante la dificultad de implantar los patios y talleres en el predio Gibraltar se decidió trasladarlo de ubicación al lote llamado Bosa 37, esta modificación generó un trayecto adicional dentro de la primera línea conocida como ramal técnico con una longitud de 4.5 Km.

Es de notar que el trazado propuesto genera una reserva vial, por diferentes ítems descritos a continuación, que afecta espacios públicos y privados. Para adelantar la identificación y verificación de la información obtenida por parte de las entidades públicas con relación a edificaciones, se definió una franja predial de 40 m a cada lado del eje del trazado de la Primera Línea del Metro de Bogotá, luego se realizó un inventario total de predios en esta zona de acuerdo a los parámetros de la ficha de edificaciones y estructuras.

Para la recolección y análisis de información de predios, se solicitó información a entidades públicas y se realizó la verificación en campo para cumplir los siguientes objetivos:

- Realizar los planos de identificación de predios a lo largo de todo el trazado de la primera línea del metro.
- Evaluar los predios en reserva tanto total como parcial, producto de la construcción del túnel para la PLMB.
- Evaluar los predios en reserva tanto total como parcial producto de la construcción de estaciones para la PLMB.
- Evaluar los predios de reserva de las subestaciones receptoras en todo el trazado de la PLMB.
- Evaluar los predios de reserva previstos para ser adecuados como Patio Taller.
- Evaluar los predios en reserva tanto total como parcial producto de la construcción de interceptaciones para la PLMB.
- Evaluar los predios en reserva tanto total como parcial por reconfiguración urbana.
- Evaluar los predios en reserva tanto total como parcial por interferencia de Redes de servicios públicos.
- Analizar el costo de metro cuadrado de terreno y construcción en cada zona presente de los predios en reserva seleccionados en los objetivos anteriores.

El análisis se realizó con la información obtenida de las bases de datos, planos o informes pertinentes al tema de edificaciones, redes y urbanismo de acuerdo con los siguientes archivos:





- Secretaria de Planeación Distrital: en ella de evaluó lo referente a bienes inmuebles, o estructuras que son considerados patrimonio Distrital o Nacional, edificaciones que son de equipamiento institucional, educativo, de salud, recreativo, etc. Adicionalmente, se realizó una investigación de carpetas de predios a fin de conocer datos técnicos de las edificaciones como: Constructor, año de construcción, tipo y cota de cimentación entre otros.
- EAAB: se tuvo en cuenta la información suministrada sobre estructuras hidráulicas como canales,
 ríos, Box Culvert que se encuentran o intersectan el trazado del Metro o sus alrededores.
- Condensa, planos e información suministrada de redes de baja, media y alta tensión.
- Empresas de telecomunicaciones: planos de redes de las diferentes empresas de telecomunicaciones, ETB, EPM, Telmex, Telefónica, Transmilenio.
- IDU: Cartillas de espacio público, elementos prefabricados.

La primera fase fue la verificación en campo de la información suministrada en bases de datos, documentos o planos por parte del cliente o entidades públicas. La segunda fase consistió en investigar en diferentes entidades la información faltante para completar la ficha de edificaciones, de acuerdo a las solicitudes hechas en los términos de referencia.

De acuerdo con la identificación de edificaciones y estructuras realizadas por el consorcio L1, se investigó cuantas unidades prediales presenta cada una de las edificaciones seleccionadas en las fichas y planos, teniendo en cuenta que en una edificación pueden presentarse varias unidades prediales (Propiedad Horizontal). De esta forma, se determinó la cantidad real de unidades prediales a ser afectadas, de la misma forma se identificó si el predio era de carácter público o privado.

Los predios presentes en el eje del túnel hecho por tuneladora, deben quedar en reserva teniendo en cuenta que la ejecución de los trabajos subterráneos, puede generar agrietamientos severos en las construcciones existentes, para lo cual se plantea evitar reclamaciones futuras a través de la reserva. Esto mismo ocurre con la implantación de las estaciones, así como los accesos y las salidas de emergencia que generan zonas de reserva en predios.

Con relación a redes de servicio, se realizó un catastro de redes húmedas en el cual se inspecciono pozos, cotas y estado de los mismos. Pare redes secas se realizó un trabajo similar de catastro sobre el inventario de redes de las empresas (ductos, cámaras y tipo de cableado), mobiliario de redes secas, postes, semáforos, teléfonos públicos y armarios de telecomunicaciones. Con dicho diagnóstico, se

desarrolló el cambio de redes que se afectaban por la construcción del metro. Estos cambios implican el traslado de las redes a zonas en donde en la actualidad se presentan predios.

También se identificaron como predios de reserva, donde funcionan o se localizan las Subestaciones Eléctricas y que se deben tener en cuenta debido a la prestación del servicio de energía para la las diferentes estaciones y funcionamiento del Metro.

Para el predio Bosa 37, donde se ubicaran los Patios y Talleres para el mantenimiento del Metro, se realizaron los planos de reserva total y parcial de predios tanto en formato DWG (ACAD) como en Shapefile.

Con la información presente, el IDU cotejó los valores de referencia de la unidad Administrativa especial de Catastro Distrital a fin de brindar un costo fiable del valor del terreno y la construcción. Los trabajos realizados por el Instituto de Desarrollo Urbano IDU consistieron en las siguientes actividades:

- Evaluación de planos, informes y fichas (franja de 40 m) entregadas por el Consorcio L1, con relación a predios que se intersectan con construcciones a ser realizadas para la ejecución del metro (túnel, estaciones, accesos a la estación, salidas de emergencia, Subestaciones Receptoras y Patio Taller).
- 2. Verificación de las características prediales señaladas en las reservas para la implantación del proyecto.
- 3. Realización de costos por unidad predial presentes en el proyecto.
- 4. Listado de costos por tramo y por tipo de intervención a realizarse

De acuerdo con el listado de todas las unidades prediales afectadas y de las edificaciones y lotes presentes en las reservas, se procedió a realizar los costos por predios, esto fue posible gracias a la base de costos prediales de la UAECD, la cual sirvió como soporte documental. Con esta información, el consultor estudió el costo por metro cuadrado de terreno y costo por metro cuadrado de área construida, en cada zona del trazado de la PLMB.

3.21 Sistema de alimentación eléctrica





3.21.1 Subestaciones receptoras

Las subestaciones receptoras tienen como función principal servir de conexión entre la red de transporte nacional y las redes de transporte de la PLMB. En estas instalaciones se acomete las líneas de 115 kV, se protegen y se transforman para alimentar los anillos de distribución de energía de tracción e instalaciones de estaciones.

Se considera la construcción de 3 subestaciones receptoras a lo largo del trazado. Estas subestaciones son las siguientes:

- Subestación receptora Tintal, situada en el pk 0+000
- Subestación receptora Hortúa, situada en el pk 12+267
- Subestación receptora Usaquén, situada en el pk 25+258

Estas tres subestaciones receptoras contarán con los siguientes transformadores para alimentar los distintos anillos de energía:

- Transformador de 70MVA: Alimenta al anillo de tracción
- Transformador de 20 MVA: Alimenta al anillo de instalaciones
- Transformador de 70 MVA: Transformador de respaldo

Estos transformadores convierten la energía en 115 kV de la red de transporte a la tensión de transporte de los anillos, es decir, 34,5 kV. En esta tensión se distribuye la energía a lo largo de todo el trazado.

Las tres subestaciones receptoras consideradas se alimentan desde la red de transporte de 115 kV. Esta alimentación se realiza a través de subestaciones existentes de la red de transporte. Como puede verse en el apartado de planos, las subestaciones receptoras se ubican junto a subestaciones de transporte de CODENSA. La conexión es del siguiente tipo:

Chicalá: Aérea

Hortúa: Subterránea, a través de galería

Usaquén: Aérea

Tanto en el caso de Chicalá como en el de Usaquén, las subestaciones receptoras se ubican en parcelas anexas a las subestaciones de CODENSA. En el caso de Hortúa, debido a estar ubicada en una zona muy urbanizada y con disponibilidad de terreno muy baja, se ha propuesto la construcción de la subestación receptora a unos 150 m de la de CODENSA. La instalación de cables entre ambas subestaciones y entre la receptora y el túnel se realiza por una galería visitable.

3.21.2 Subestaciones de tracción

La demanda de energía del material rodante es satisfecha a través de subestaciones de tracción instaladas en las propias estaciones de viajeros. Todas las subestaciones de tracción estarán alimentadas desde el anillo de distribución de tracción. Este anillo distribuye la energía de tracción desde las subestaciones receptoras hasta las subestaciones de tracción en 34,5 kV. La subestación situada en talleres y la situada en el Tintal (en el ramal técnico que une la línea con los talleres y cocheras) se instalan en un edificio en superficie, con una distribución y configuración similar a las de las estaciones.

Las subestaciones de tracción se alimentan del anillo de tracción. Cada grupo de tracción se alimenta de un lado del anillo, con el fin de minimizar el tiempo de indisponibilidad de la red de tracción.

La acometida se realiza en cable aislado a las cabinas de protección aisladas en gas SF₆ situadas en cada subestación. En cada subestación se instalarán 4 cabinas aisladas, que corresponden a 1 cabina de entrada y otra de salida para cada una de las ramas del anillo.

El tendido de cables se realiza a través de los ductos verticales de instalaciones dispuestos al efecto. En la sala de la subestación, el cableado se realiza en canaleta aislante con las dimensiones especificadas en los planos.





Tecnología y configuración de las SET

El material rodante de la PLMB estará alimentado a 1.500 V en corriente continua. Por ello, tras el transformador de tracción, se instalará un rectificador que convierte la corriente alterna en corriente continua. La rectificación será dodecafásica, lo que se consigue con un transformador de tracción con doble secundario conectado en estrella-triángulo (desfase de 30º entre las salidas de los secundarios) y un rectificador formado por dos ramas hexafásicas.

Entre el rectificador dodecafásico y el barraje de salida se instala un seccionador bipolar motorizado, que permite aislar el grupo de tracción de los equipos de salida a catenaria y del retorno de los carriles.

Tras el barraje de salida a catenaria se encuentran los interruptores extrarrápidos y el extrarrápido de bypass, montados en carros extraíbles.

Los seccionadores motorizados de conexión a catenaria y de continuidad entre tramos contiguos de catenaria, se encuentran en un área de la misma subestación protegidos por un cerramiento metálico con enclavamiento mecánico. Los seccionadores conectan la subestación con la catenaria a través de cable aislado de 3 kV. El retorno a los carriles también se conecta mediante cable aislado de 3 kV.

Todas las cabinas de 36 kV instaladas en la subestación de tracción son modulares y están aisladas en gas SF6, formando una vez enlazadas entre sí, un conjunto único y compacto de frente común. El cuadro de 36 kV se compondrá en su fase inicial de las siguientes celdas:

- 2 celdas de entrada para el anillo de 34,5 kV
- 2 celdas de salida para el anillo de 34,5 kV
- 2 celdas de protección de transformadores de tracción
- 2 celdas de protección de transformadores de servicios auxiliares

3.21.3 Centros de transformación

Todos los equipos instalados en las estaciones de viajeros son alimentados desde el anillo de instalaciones. En cada una de las estaciones existen dos centros de transformación redundantes, alimentado cada uno de ellos de una rama distinta del anillo y que, de manera general, cada rama de cada

tramo se alimentará desde distintas SER contiguas. A la salida de los trafos se dispone de un equipo de conmutación automática que alimenta los cuadros generales desde los que se conectan todas las instalaciones (ascensores, escaleras mecánicas, ventilación, iluminación, fuerza, etc.).

3.21.4 Línea aérea de contacto (catenaria)

La Primera Línea de Metro (PLM) de Bogotá tiene una longitud de unos 27 Km que discurren por túnel con un total de 27 estaciones de pasajeros, siendo las cabeceras de línea las estaciones de Portal de las Américas y Calle 127. También está previsto la construcción de Cocheras y Talleres que se comunican con el resto de la Línea a través de un ramal técnico de 4.5 km en superficie.

La catenaria empleada en la parte de túnel es de perfil de aluminio rígido (catenaria rígida) con hilo de contacto de cobre insertado en su parte inferior para suministro de energía al pantógrafo del tren, mientras que la catenaria tanto del ramal de conexión como en las Cocheras y Talleres será poligonal flexible. En ambos casos se ha diseñado para que permita el correcto funcionamiento de la Línea en la situación de futuro (año 2050) con un mayor tráfico de trenes, aunque en el caso de la catenaria a cielo abierto sería necesario añadir feederes de refuerzo.

Se elige catenaria rígida en la zona de túnel porque ofrece facilidad de montaje (del orden de 10 veces menos componentes, lo que se traduce en economía para la instalación y para el stock de mantenimiento); un tamaño reducido que permite menores exigencias de altura en el túnel; un aumento del periodo de sustitución por desgaste ya que un +30% de desgaste es aceptable ya que no hay tensión mecánica en el hilo de contacto; se evitan caídas de catenaria, y por tanto menor coste de mantenimiento; gran sección equivalente de cobre, gran sección conductora y al aire, menores pérdidas por efecto Joule, supresión de puntos de alimentación y facilidad de refrigeración por convección.

Se elige catenaria flexible en la zona a cielo abierto porque permite una mayor distancia de vanos (menor número de apoyos) y las operaciones de mantenimiento no son tan delicadas como en el interior del túnel.

La tensión de alimentación será de 1.500 Vcc.





Catenaria rígida

La catenaria rígida estará compuesta por perfiles de aluminio extruido de longitudes de 8, 10 y 12 m (longitudes comerciales) y 110 mm de altura, sujetos a unos soportes tipo UPN siempre a 90 º respecto al plano de la vía y fijados en la parte superior del túnel. En la parte baja del perfil de aluminio se insertará el hilo de contacto ovalado de cobre ranurado de sección 150 mm², alcanzando una sección equivalente en cobre de 1.200 mm². Los soportes de la catenaria se instalan a interdistancias máximas de 12 metros.

Todos los soportes de fijación estarán unidos por un cable de tierra tipo LA-110, que se llevará hasta las subestaciones eléctricas de tracción (SET) donde se pondrá a tierra y se controlará el voltaje y la intensidad de corriente.

La altura al hilo de contacto será de 5,3 m como valor nominal de diseño.

Catenaria flexible

La catenaria flexible estará formada por Línea aérea de contacto poligonal atirantada, cuya configuración consiste en el empleo de dos hilos de contacto de Cu-Ag de 150 mm², un sustentador de Cu de 185 mm² y péndolas de Cu de 25 mm², con vanos máximos de 60 m de longitud, permitiendo alcanzar velocidades superiores a los 100 km/h.

En la fase inicial de la puesta en servicio (año 2021) no será necesario el empleo de feederes de acompañamiento. Para la situación de futuro (año 2050), en el que el tráfico de trenes se incrementará, se pueden necesitar, en tal caso se instalarán conexiones desde el feeder de acompañamiento al cable sustentador a las distancias óptimas que se definan en los cálculos de consumo de potencia.

La altura de los hilos de contacto (como valor nominal de diseño) será de 5,30 m, si bien en Cocheras y en Talleres serán algo superior (5,70 m y 6,00 m respectivamente).

La altura de la catenaria será de 1,40 m y el vano máximo entre apoyos será de 50 m. Los apoyos estarán formados por postes que se fijaran mediante placas base y pernos roscados sobre las cimentaciones.

3.22 Sistema de señalización y control de trenes

3.22.1 Descripción General Sistema Señalización y Control de Trenes

El sistema de señalización y control de trenes previsto para la PLMB será un CBTC, con las siguientes características principales:

- Tendrá en cuenta los requisitos de operación en situaciones normales, situaciones degradadas en la operación, así como en la definición de servicios parciales, el cierre de estaciones, la definición de servicios en vía única, etc.
- Deberá permitir un intervalo de operación de 90 segundos, por lo tanto el esquema de vías y todas las instalaciones inherentes a la operación del sistema deberán estar diseñadas y dimensionadas para permitir este intervalo.
- Dispondrá del equipamiento necesario para poder llevar a cabo el establecimiento de modos degradados en la explotación de la línea. Este equipamiento lo constituye la instalación de circuitos de vía y señales laterales. Adicionalmente, existe también un sistema ATP de respaldo.
- Permitirá la supervisión de todo el conjunto simultáneamente por parte de los operadores de tráfico situados en el Puesto de Control Centralizado (PCC) y en el Puesto de Control de Respaldo.
- Será intrínsecamente seguro, con un nivel de seguridad SIL 4, garantizando la seguridad continua tanto de los viajeros, como del propio personal de explotación y circulación.

Con el objetivo de maximizar la capacidad de la línea, se considera un sistema CBTC tipo Cantón Móvil.

Dentro del sistema de señalización y control de trenes se dispondrá de una serie de equipamiento presente en campo. Este equipamiento será:

- Señales
- Accionamientos eléctricos
- Circuitos de vía
- Balizas
- Puntos de acceso radio CBTC
- Puertas de andén

El equipamiento que se encontrará presente en las salas técnicas distribuidas a lo largo de la línea lo conformarán:



- Controladores de zona
- Enclavamientos
- Controladores de objetos
- Servidor Comunicaciones radio
- Gestor de Flota
- Sistema ATS

Todo el equipamiento correspondiente al sistema de señalización y control de trenes quedará interconectado mediante la red de comunicaciones de señalización y el sistema radio CBTC (comunicación Tren – Tierra).

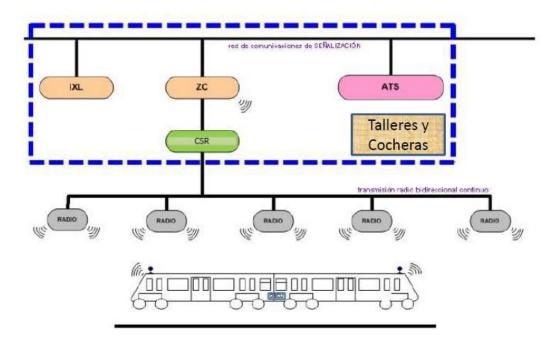


Figura 43.- Esquema del sistema de señalización y control de trenes

El principio básico de operación del sistema CBTC se basa en el seguimiento y control de los trenes a través de un sistema de comunicaciones radio para el sistema CBTC, permitiendo la ubicación exacta de los trenes.

En función de la localización de cada tren y las condiciones de la vía, el controlador de zona (ZC), asignará a cada uno de los trenes situados en su área de influencia el límite de movimiento autorizado, que corresponderá con el punto de la vía que limita el tramo de vía que quedará reservado, en exclusiva y en

cada momento, para cada uno de ellos desde su parte trasera hacia adelante, en el sentido de la marcha del tren y por la ruta establecida hasta dicho punto. El límite de movimiento autorizado determinará el extremo del movimiento autorizado que será comunicado a cada equipo de material embarcado.

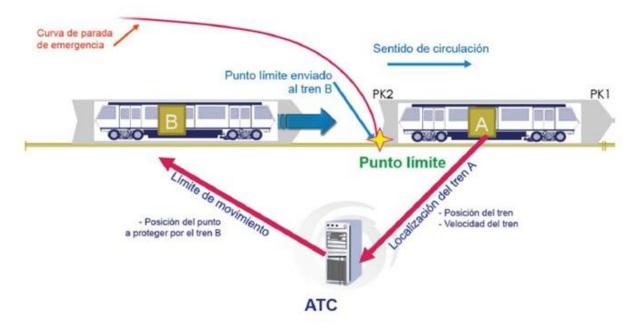


Figura 44.- Esquema del sistema CBTC tipo Cantón Móvil

El controlador de zona, construirá el movimiento autorizado de un tren ampliando, a intervalos de tiempo, el tramo de vía reservado para el correspondiente tren, considerando:

- El estado y el límite de la vía
- La posición del resto de trenes
- La posición y el sentido de avance del propio tren al que se le asigna el límite de movimiento autorizado
- El enrutamiento de los trenes
- La distancia máxima permitida para un movimiento autorizado

Según avance el tren, el equipamiento instalado en el material embarcado ajustará el inicio del movimiento autorizado a la parte trasera del tren, de modo que liberará un tramo de vía que el controlador de zona podrá incorporar al movimiento autorizado de otro tren. No obstante, no se autorizará la entrada de un tren a la vía del andén de una estación hasta que el tren anterior haya abandonado la estación.





En el diseño del sistema de señalización y control de trenes se ha previsto la instalación de Controladores de Objetos y Enclavamientos. Los enclavamientos se encontrarán ubicados en las estaciones de 1º de Mayo y Calle 127. La solución planteada podría haberse diseñado con la instalación de un único enclavamiento, pero en vistas de futuras ampliaciones se ha previsto la instalación del segundo enclavamiento en la estación Calle 127.

Los controladores de objetos distribuidos lo largo de la línea se encontrará asociados a los dos enclavamientos, disponiendo de esta forma de un segundo enclavamiento como backup.

La conexión de los diferentes controladores de objetos con los enclavamientos se realizará con estructura anillo.

En los talleres y cocheras se ha previsto la instalación de un enclavamiento y un controlador de objetos para la vía de pruebas, dependiente del enclavamiento de talleres y cocheras.

3.22.2 Equipamiento Sistema CBTC

Controlador de Zona

El Controlador de Zona será el encargado de detectar la presencia de los trenes en su territorio y calcular una autorización de marcha para cada uno de ellos, teniendo en cuenta las condiciones de seguridad por delante del tren. El controlador de zona participa también en la transferencia de los viajeros en el andén, actuando de interconexión entre el ATC Embarcado y la Unidad de control de puertas de andén.

Dentro de su territorio, el controlador de zona recibirá las solicitudes de todos los trenes de su zona. A partir de estas solicitudes y a partir del estado de los itinerarios transmitidos por el enclavamiento, el controlador de zona determinará el perímetro de seguridad de cada uno, después de haber solucionado los conflictos potenciales entre las solicitudes, por ejemplo un enfrentamiento de trenes.

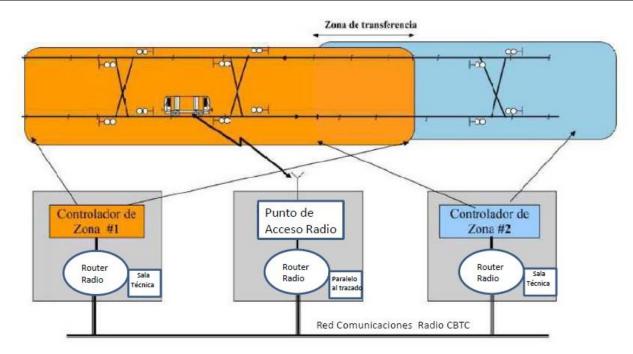


Figura 45.- Controlador de Zona

Gestor de Flota

El gestor de flota dispondrá de una base de datos de la flota de trenes presente en la línea, por lo que cualquier modificación que se quiera llevar a cabo en la flota de trenes planificados para el servicio, deberá realizarse sobre el equipo gestor de flota.

Balizas Sistema ATO

Las balizas del sistema ATO se encargarán de llevar a cabo las siguientes funciones en el sistema de señalización y control de trenes:

- Corrección de los errores acumulados en la interestación en cuanto a medida de distancia por el equipo de ATO instalado en el tren.
- Corrección del diámetro de la rueda, gracias a la medida continua de distancia entre balizas.
- Localización del tren, mediante el envío de datos fijos (número de línea, estación y vía)
- Control centralizado, mediante el envío de datos variables desde el telemando de tráfico.
- En el PCC el operador podrá intervenir en la circulación de los trenes (cambio de marcha, permiso o no de vuelta automática, etc.).



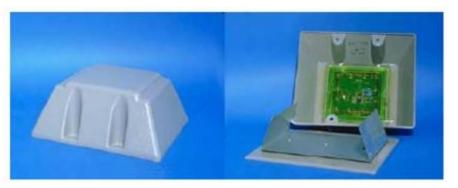


Figura 46.- Balizas sistema ATO

• <u>Sistema ATS</u>

El subsistema ATS proporcionará un conjunto de funcionalidades que se podrán clasificar de la manera siguiente:

- Funcionalidades de administración: son aquellas que permiten establecer, configurar y modificar los parámetros básicos de la línea.
- Funcionalidades de Operación: son las funciones necesarias para la explotación normal de la línea y que incluyen: monitorización de la línea, gestión automática de la línea, control manual de la explotación y ayuda al operador.
- Funcionalidades de análisis, simulación y reconstrucción de eventos: funciones relativas a la elaboración de estadísticas, informes, análisis en tiempo diferido, etc.

• Sistema ATC

El ATC consta de los siguientes equipos:

- Controlador de Zona: Será el encargado de llevar a cabo las funciones de ATP, para el sistema CBTC. Su misión será la de administrar la seguridad del movimiento de trenes sobre un tramo de la Línea. Su misión será detectar la presencia de los trenes en su territorio, luego calculará, para cada uno de ellos, una autorización de marcha sobre un ámbito situado delante del tren.
- Equipo embarcado: realizará las funciones embarcadas de ATP y ATO. Estará instalado en cada uno de los trenes. Se encargará de determinar la posición de su tren sobre la vía, administrando los modos de conducción, enviando y controlando el movimiento del tren en función de las autorizaciones de movimientos transmitidas por el controlador de zona y de las consignas de explotación dadas por el ATS.

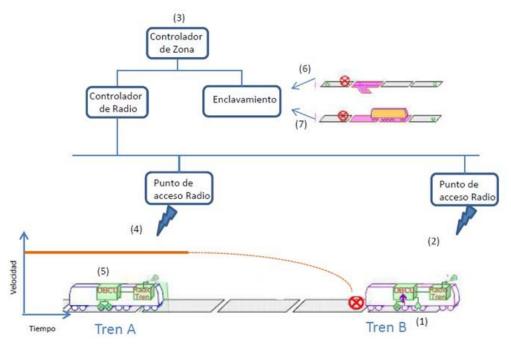


Figura 47.- Esquema del sistema ATC

• <u>Sistema ATP</u>

Las funciones del subsistema ATP deberán garantizar que los trenes circulen en todo momento bajo las condiciones de seguridad y velocidad impuestas por el estado de la vía, itinerarios, posición del resto de trenes y otras variables impuestas.

El subsistema ATP deberá garantizar, como mínimo las siguientes funciones:

- Detectar de manera continua las presencia de trenes en la línea a través del sistema de transmisión bidireccional (cantón móvil) y de los circuitos de vía.
- Garantizar la separación de los trenes de acuerdo a las características de velocidad establecidas,
 las características de los vehículos y las restricciones del sistema ATC.
- Limitar la velocidad de los trenes según los límites de seguridad.
- Supervisar el sentido de la marcha del tren
- Detectar obstrucciones en la circulación de trenes
- Obtener del enclavamiento la información variable de vía (estado de los circuitos de vía, enclavamientos, etc.)





• Definir el parámetro autorización de movimiento (MA) a partir de la información recibida de los trenes, enclavamientos y la información de la infraestructura (gradientes, velocidades máximas, limitaciones temporales, etc.).

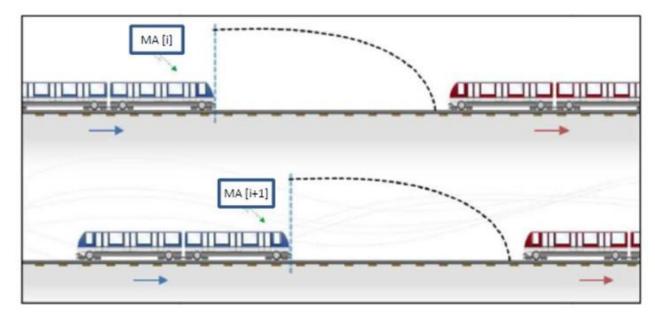


Figura 48.- Esquema del sistema ATP

• <u>Sistema ATO</u>

El sistema ATO permitirá operar automáticamente el tren en el trayecto entre estaciones siguiendo las consignas de regulación comunicadas por el subsistema ATS y considerando en todo momento las restricciones impuestas por el subsistema ATP.

La conducción en modo automático se podrá realizar mediante diferentes tipos de marcha. Las consignas de velocidad ATO nunca superarán las consignas de velocidad ATP en cada punto de la línea. El subsistema de regulación de tráfico ATS, indicará a cada tren los parámetros para permitir la marcha adecuada en tramos entre estaciones, así como el tiempo de parada en estaciones en base a los criterios de regulación.

3.22.3 Equipamiento No CBTC

Enclavamiento

El enclavamiento gestionará los diferentes elementos de campo a través de los controladores de objetos, presentes en el resto de estaciones. Las funciones principales de un enclavamiento en un sistema CBTC serán:

- Permitir o rechazar el establecimiento de rutas solicitados por el operador desde el ATS dentro de la zona controlada por el enclavamiento.
- Establecer incompatibilidad entre rutas.
- Recibir e interpretar el estado de los elementos de campo que intervienen en la señalización.
- Generar cambios en el estado de las agujas, en función de las órdenes generadas por el operador.
- Comunicarse con otros elementos presentes en el sistema CBTC, como es el caso de los controladores de objetos y controladores de zona, para garantizar la correcta operación del sistema de señalización.

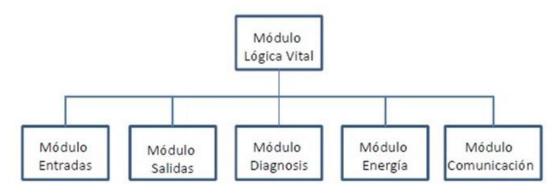


Figura 49.- Esquema Módulos de equipamiento No CBTC

Controlador de Objetos

El Controlador de objetos requerirá de un Enclavamiento para la gestión de los diferentes elementos de vía, dado que la información vital para el funcionamiento del sistema de señalización se encontrará ubicada en el enclavamiento.

Los controladores de objetos se instalarán en cada una de las estaciones de la línea, en las salas técnicas de enclavamientos habilitadas para tal uso.





Las principales funcionales del controlador de objetos serán:

- Mando de salidas digitales recibidas desde el enclavamiento y enviadas a los objetos de campo
- Control de entradas digitales desde los objetos de campo
- Comunicación con el enclavamiento con envío de información del propio estado y estatus del controlador de objetos
- Interconexión entre entradas-salidas para mantener una comunicación con las señales, las agujas, los circuitos de vía o los contadores de eje, los relés de seguridad, los conmutadores, etc.

Los módulos del controlador de objetos permitirán:

- La optimización de protocolos de comunicación con los Ordenadores Centrales para reducir los tiempos de respuesta, aumentar la capacidad de comunicación y la fiabilidad del trabajo.
- El empleo de enlaces de comunicación estándar y de protocolos sin necesidad de sincronización.
- Una arquitectura interna más flexible, que permite la utilización de distintas tarjetas en el mismo módulo.

Sistema ATP

El sistema ATP para el sistema de señalización no CBTC deberá permitir llevar a cabo la supervisión en los siguientes puntos:

- Supervisión de la velocidad máxima fijada por la geometría de vía.
- Supervisión de la velocidad máxima en puntos singulares: pasos por andén, pasos por agujas.
- Supervisión de la velocidad máxima atendiendo al aspecto de las señales de explotación.

El equipamiento del sistema ATP estará formado como mínimo por los siguientes equipos:

- Equipamiento ATP en salas técnicas.
- Balizas pie de señal.
- Balizas previas
- Equipamiento ATP embarcado

El sistema ATP propuesto en este proyecto deberá ser un sistema de frenado puntual ya que se deberá poder transmitir información de forma discreta vía balizas.

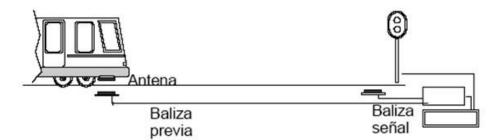


Figura 50.- Esquema de balizas del sistema ATP en equipamiento No CBTC

Balizas Sistema ATP

Las balizas ATP instaladas a lo largo de la vía se encargarán de llevar a cabo la funcionalidad del sistema ATP de respaldo. El sistema ATP de respaldo dispondrá de balizas previas y balizas pie de señal. Las balizas del sistema ATP enviarán al OBCU la información relacionada con el aspecto mostrado en la señal, así como la información relacionada a las restricciones de velocidad presentes en la línea.

<u>Puesto Local de Opera</u>ción

Los puestos locales de operación se instalarán en cada uno de los cuartos técnicos en los que se haya previsto la instalación de un enclavamiento y para el controlador de objetos previsto para la vía de pruebas.

Mediante estos terminales se podrán llevar a cabo las tareas de gestión y control de tráfico ferroviario de manera local. Todas las acciones que se lleven a cabo en estos puestos se dirigirán directamente sobre el enclavamiento, y deberán ser realizadas bajo la autorización del sistema ATS.

El puesto local de operación incorporará un sistema de gestión de autoridad, cuyo propósito será el de gestionar las sesiones de usuario y permitir o denegar el acceso y la ejecución de determinadas funciones y comandos en base a la definición de 'privilegios' y de 'áreas de autoridad'.





<u>Terminal de mantenimiento</u>

El terminal de mantenimiento se encontrará incluido en los cuartos de señalización, presentes en cada una de las estaciones.

El terminal de mantenimiento deberá mostrar como mínimo la siguiente información, necesaria para las tareas de mantenimiento de los sistemas de señalización y control de trenes, presente en la PLMB:

- Monitorización del estado de los elementos ferroviarios bajo control, tanto físicos (circuitos de vía, agujas, señales, etc.) como lógicos (movimientos, maniobras locales).
- Monitorización del estado de los elementos físicos (hardware).
- Monitorización del estado de los elementos lógicos (fecha / hora, etc.).
- Recuperación de los datos de configuración
- Recuperación de las incidencias registradas
- Actuaciones restringidas orientadas al mantenimiento: cambio de fecha y hora, gestión de
- · contadores de maniobras.
- Almacenamiento en disco de todo tipo de datos obtenidos: de configuración, del estado de todos los elementos controlados en un instante dado y archivos de incidencias.

<u>Circuitos de vía</u>

La función de los circuitos de vía será la de permitir conocer la posición de los trenes en cada instante, garantizando así la separación entre ellos, en los casos de funcionamiento del sistema en modo degradado. Sólo podrá haber un tren por cantón en cada instante, es decir, ningún tren puede entrar en un cantón antes de que el tren precedente lo haya abandonado.

Los carriles serán utilizados como conductores eléctricos y unirán una fuente de energía eléctrica, situada en un extremo del circuito de vía, con un relé situado en el otro extremo.

El tramo de vía se limitará mediante la existencia de un sistema de audiofrecuencia sin juntas mecánicas, en el que cada tramo tendrá una banda de frecuencia distinta

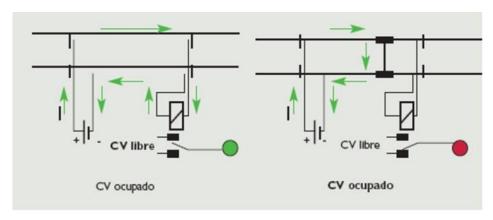


Figura 51.- Esquema de circuitos de vía

Cuentaejes

Para aquellas zonas de los talleres en los que no es posible la instalación de circuitos de vía, dada la escasa distancia existente entre cada uno de los aparatos de vía, se ha tenido que emplear otra tecnología que permita la detección del material móvil en esas zonas, como son los sistemas cuentaejes.

El Sistema Contador de Ejes es un equipamiento electrónico basado en tecnología de microprocesadores diseñado para evaluar con seguridad la presencia de tren en una sección de vía. La disposición y longitud de las secciones de vía a evaluar, así como las informaciones a intercambiar con otras centrales podrán ser definibles y configurables, pudiendo adaptar el sistema a cada necesidad de aplicación.

El Sistema Contador de Ejes está formado por dos elementos básicos, el equipo exterior de vía y la central evaluadora a instalar en el interior de los cuartos técnicos de señalización

Accionamientos eléctricos

Serán los elementos utilizados para la maniobra, retención y comprobación de los cambios de aguja. Los accionamientos de aguja dispondrán de una caja de protección en cuyo interior se alojarán los siguientes bloques de elementos:

- Sistema de accionamiento: serán accionamientos eléctricos.
- Timonería: constituida por los elementos que unirán el sistema de accionamiento con los espadines (barra de accionamiento, embrague, barras de detección, cerrojos, etc.)
- Sistema de Supervisión y Control



Los accionamientos serán comandados desde el PCC, así como desde los Puesto de Control Local (PCL) ubicados en las salas técnicas de enclavamientos de aquellas estaciones que dispongan de un enclavamiento. Asimismo, los accionamientos dispondrán de un mando de accionamiento local en el caso de modos degradados de la explotación de la línea.

Señales

El sistema CBTC no requerirá de señales de circulación para señalizar las secciones de bloqueo, puesto que la gestión de la circulación de los trenes se basa en cantones móviles, y el punto de parada del tren viene determinado por la distancia de seguridad que tenga por delante y que determina el sistema ATC.

Se ha tenido en cuenta la instalación de señales, para la operación del sistema en los modos degradados

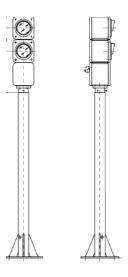


Figura 52.- Señales

Cajas de terminales

Las cajas de terminales serán los puntos de interconexión entre el equipamiento de señalización en cabina (enclavamientos y controladores de objetos) y los elementos de campo, tales como señales, circuitos de vía, accionamientos y balizas ATP. Deberán instalarse en las proximidades de los equipos de señalización de campo, para permitir llevar a cabo la distribución del cableado de señalización.

3.22.4 Equipamiento embarcado

El equipamiento embarcado relacionado con el sistema de señalización y control de trenes se muestra en la figura adjunta:

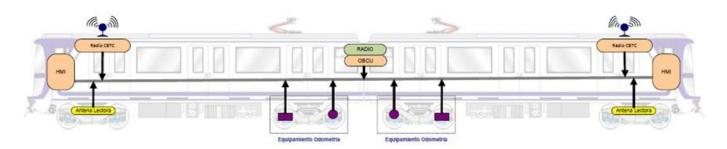


Figura 53.- Esquema de equipamiento embarcado

Los diferentes elementos incluidos de material embarcado que conformarán parte del sistema de señalización y control de trenes, serán:

OBCU (On Board Control Unit)

El OBCU será el encargado de realizar las funciones ATP y ATO a nivel embarcado. El equipo controlador embarcado determinará la posición del tren sobre la vía, administrará los modos de conducción, enviará y controlará el tren en función de las autorizaciones de movimientos transmitidas por el controlador de zona y de las consignas de explotación definidas por el ATS.

Equipamiento de odometría

El equipamiento de odometría estará formado por los siguientes elementos:

- Tacogenerador
- Radar Doopler
- Acelerómetro

Lector de balizas

El lector de balizas embarcado permitirá al equipo controlador embarcado, realizar la lectura de todas las balizas presentes en la vía de los sistemas ATP y ATO.





Pantalla de operación

Las pantallas serán instaladas en los pupitres situados en cada extremo del tren. El sistema únicamente mostrará la información en el extremo activo, que será en función del sistema de la marcha.

Antena radio CBTC

El tren deberá disponer de una antena para la comunicación radio del sistema CBTC.

En cada uno de los trenes se instalarán dos antenas, una en cada una de las cabezas del tren, las cuales irán interconectadas con el módulo de radio embarcada

Radio embarcada

La unidad de radio embarcada se encontrará situada en el mismo compartimento que el OBCU dado que la radio embarcada será el equipo a través del cual, el OBCU, recibirá la información del sistema radio del CBTC.

3.22.5 Sistema de comunicación radio CBTC

El sistema de comunicación tren – tierra para el sistema CBTC deberá proporcionar un intercambio continuo y bidireccional de información entre el equipamiento embarcado y el equipamiento del sistema CBTC.

El sistema radio para las comunicaciones del sistema CBTC deberá estar basado en el estándar IEE 802.11. La banda de frecuencia a emplear para la solución propuesta para el sistema radio deberá ser 2.4 GHz.

El proponente podrá plantear otra banda de frecuencia a emplear para el sistema radio CBTC, siempre y cuando cumpla con las especificaciones indicadas para el sistema radio CBTC.

La información del sistema CBTC transmitida al material rodante, deberá estar protegida contra manipulación a través de mecanismos de cifrado y cortafuegos, según lo especificado en la norma EN 50129.

El sistema radio para las comunicaciones del sistema CBTC deberá actuar como un sistema flexible, proporcionando el enrutamiento necesario de los diferentes paquetes de datos que han de ser transmitidos.

El sistema radio para las comunicaciones del sistema CBTC deberá garantizar el correcto funcionamiento independientemente del tipo de infraestructura planteada (túnel, estación, trazado en curva, trazado en recta, espacio abierto, áreas de depósito), por lo que se deberá adecuar su funcionamiento a la topología de trazado propuesta.

El sistema radio para las comunicaciones del sistema CBTC dispondrá de una estructura modular y deberá permitir ampliaciones de la línea, sin necesidad de sustituir la infraestructura existente

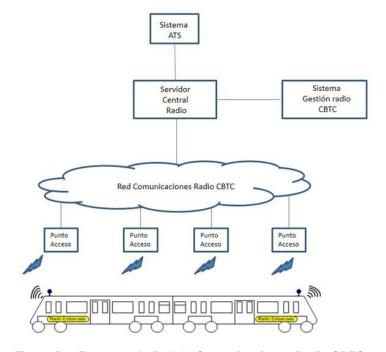


Figura 54.- Esquema de Red de Comunicaciones Radio CBTC

3.22.6 Talleres y Cocheras

• <u>Talleres</u>

El modo de conducción previsto para la zona de talleres será GoA1. Este modo de conducción obligará a definir una zona de frontera que sirva para mover los trenes entre la zona de cocheras (GOA4) y la zona





de talleres (GOA1). El punto frontera entre modo CBTC y modo no CBTC vendrá determinado por la zona de toma y deje de servicio (TDS) definida en el documento de talleres y cocheras.

En este punto desde el PCC se llevarán a cabo las tareas de estacionamiento de los trenes (en una de las dos vías de estacionamiento paralelo) para que un maquinista tome el mando y lo conduzca hasta los talleres, así como la trasferencia en sentido inverso (de talleres a la línea).

El equipamiento de señalización previsto para la zona de talleres será el mismo que se ha previsto para el resto de la línea (señales, balizas, CV), con la única salvedad que se ha incluido el sistema de cuentaejes para las zonas de talleres y para la playa de vías de cocheras.

La operación sobre los equipos de señalización previstos en la zona de talleres y cocheras (accionamientos, señales y CV) estará supervisada por el enclavamiento previsto para la zona de talleres y cocheras. El enclavamiento previsto para la zona de talleres y cocheras se encontrará instalado en la sala técnica del edificio de talleres y cocheras. La zona de talleres estará controlada desde el Puesto de Control Local ubicado en la zona de talleres. Desde este puesto de control se deberá llevar a cabo la monitorización de los diferentes elementos presentes en la zona de talleres. Mediante la monitorización de los elementos presentes en la zona de talleres (señales, accionamiento, CV y cuentaejes) se podrán realizar las indicaciones apropiadas a los diferentes trenes, de forma que puedan acceder a las instalaciones de talleres

Cocheras

En las cocheras se diseñará una solución completamente automática, al igual que para la explotación completa de la línea, siendo su modo de conducción GoA4. La zona de cocheras estará totalmente automatizada, con las mismas características que la vía general. Por lo tanto, esta zona se equipará al igual que el resto de la línea, para poder garantizar las funcionalidades del sistema CBTC. Para la solución planteada en las cocheras se ha previsto la instalación del mismo equipamiento de señalización que en el resto de la línea (Balizas ATO, Balizas ATP, señales, accionamientos, circuitos de vía).

3.23 Sistema de protección a pasajeros (puertas de andén)

3.23.1 Generalidades

El sistema de Puertas de Andén, es el elemento de seguridad para el transporte ferroviario más innovador del mercado.

Las puertas de andén son unas fachadas de seguridad (acero, aluminio anodizado y cristal laminado muy transparentes), que separan el andén de la vía. Estas fachadas constan de unas puertas deslizantes situadas delante de las puertas que dan acceso al vehículo (material móvil), cuyo paso libre es ligeramente superior a las del tren para garantizar el flujo de pasajeros (paso libre PSD = paso libre material móvil + precisión de parada).

Estas puertas deslizantes se abren de forma sincronizada con las puertas del vehículo, cuando el metro llega a la estación y realiza su parada. Estas puertas también se cierran de forma sincronizada con el cierre de las puertas del vehículo, cuando éste abandona la estación para seguir su recorrido.

En caso de fallo en el sistema de señalización, existirá en cada andén, un mecanismo para la gestión de las puertas de ese andén. Este mecanismo (panel de control local LCP) gestionará todas las puertas de ese andén y será gestionado por personal autorizado y siguiendo protocolo establecido.

A cada lado de estas puertas automáticas deslizantes, se sitúan otras de emergencia, batientes hacia el interior del andén y accionables mediante sistema de seguridad (maneta / barra antipánico, etc.) desde el lado de la vía. Estas puertas permiten a los pasajeros de un convoy, evacuar el tren en caso de que éste se detenga fuera de su posición habitual de parada. Por encima de estas puertas se sitúa la caja de mecanismos. Ésta contiene el corazón del módulo e integra el control de la puerta.

En la caja de mecanismos se encuentran los elementos que forman el bucle de seguridad del sistema. Este bucle, que está formado por todos los detectores de estado de las puertas de andén, es lo que dota a la línea de la seguridad necesaria para evitar cualquier tipo de incidente, ya que imposibilita la entrada o salida del tren en la estación si no está toda la fachada cerrada y enclavada, es decir, si no se tiene la certeza de que nada ni nadie puede caer a la vía en el momento de entrar el tren a la estación y que nadie ha quedado atrapado entre las puertas en el momento de salir el tren de la estación. El resto de la fachada





se completa con paneles fijos, provistos de cristal de seguridad, y puertas de salida a andenes para que el personal de mantenimiento pueda realizar trabajos necesarios, y en caso de evacuación de un tren, los viajeros puedan evacuar la estación accediendo por el andén a través de esta puerta.

El sistema de puerta de andén refuerza la seguridad de las líneas de Metro para todos los pasajeros, ya que son la protección más eficaz para evitar su caída a las vías o disuadir a los pasajeros de cambiar de andén. También favorece la utilización total del andén.

Asimismo, el sistema de puerta de andén refuerza los elementos de protección para el colectivo de Personas de Movilidad Reducida, principalmente los invidentes, complementando otras medidas ya previstas en el diseño de las estaciones de metro.

Este sistema también proporciona ventajas en la explotación del servicio, en cuanto a la protección en los accesos a los túneles, protección contra el fuego y el ahorro de energía, permitiendo además una mayor capacidad y regularidad en la prestación de los servicios.

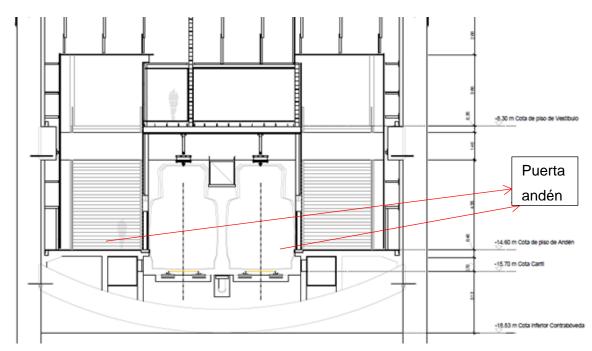


Figura 55.- Sistema de puertas de andén

3.23.2 Componentes

Cada fachada a instalar estará formada por una serie de componentes principales que a continuación se enumeran:



ELEMENTOS INTEGRADOS

- 1 SALA CONTROL / ALIMENTACIÓN PUERTAS
- 2 PANEL DE CONTROL LOCAL
- 3 GESTIÓN DE PUERTA Y DISTRIBUCIÓN DE CARLEADOS
- 4 PUERTAS DESLIZANTES
- PANELES INDICACIORES
- 6 ILUMINACIÓI
- 7 PUERTAS DE EMERGENCIA CON APERTURA MEDIANTE MECANISMO ANTIPÁNICO
- 8 PUERTAS PARA ACCESO A LA VÍA
- 9 PANELES FLIOS
- 10 CERRAMIENTO DE VIDRIO
- 11 MECANISMO LIBERACIÓN LADO ANDÉN
- 12 PISADERA
- 13 INDICADOR ACÚSTICA
- 14 INDICADOR LUMINOSO
- 15 MECANISMO LIBERACIÓN LADO VÍA

Figura 56.- Principales componentes de las puertas de andén

3.23.3 Esquema general del sistema puertas de andén

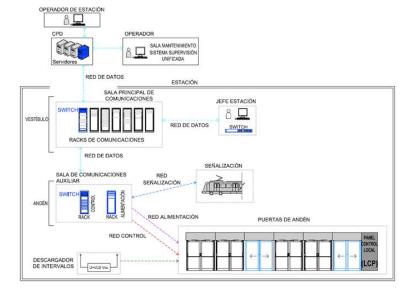


Figura 57.- Esquema general del sistema de puertas de andén



3.23.4 Diseño

En el diseño del sistema de puertas de andén primarán los siguientes conceptos:

- La seguridad del pasajero en el momento que está en el andén y durante el recorrido tren-andén (en modo normal y en modo degradado)
- · La disponibilidad del sistema
- La resistencia a las agresiones del medio
- Las cargas debidas a las presiones, efecto pistón, a los choques de acceso, empujes de los pasajeros y cargas sísmicas
- Mantenimiento optimizado, reducido y sencillo
- Estética general, buscando la transparencia de la fachada y con acabado acordes a la arquitectura de la estación.
- Diseño modular, fácilmente intercambiable
- Impedir la propagación de incendios y la penetración de humos así como la de gases tóxicos derivados del fuego en las instalaciones próximas del sistema

3.23.5 Funcionalidades

Con el diseño y la instalación de las Puertas de Andén, se posibilitará:

- Aislar la plataforma y los pasajeros de las vías.
- Evitar que personas u objetos caigan a las vías, y evitar el coste asociado.
- Evitar que se pueda entrar en los túneles.
- Lograr que sólo haya movimientos de pasajeros entre el tren y el andén cuando el tren está parado y en posición correcta.
- Proteger a los pasajeros de ser arrastrados por el tren.
- Aumentar el área disponible para los pasajeros mientras esperan el tren.
- Limitar el acceso a los túneles al personal autorizado.
- Aumentar el tránsito ferroviario.
 - Cuando el tren se ha posicionado correctamente, las Puertas de Andén permiten un flujo de los pasajeros entre andén y tren (reduce el tiempo de transferencia). Permite garantizar unas condiciones de seguridad mientras los trenes se mueven. Reduce las interrupciones de los servicios de trenes, al evitar la caída de objetos o personas a la vía
- Protección contra el fuego

- Ahorro de energía
- Reducir el ruido y la corriente de aire generada por el tren cuando llega y sale de la estación

El sistema de Puertas de Andén será diseñado para facilitar su mantenimiento:

- Los elementos que forman la fachada se podrán sustituir fácilmente con herramientas estándar y en el menor tiempo posible
- Todos los componentes, sub-montajes o montajes principales que puedan requerir su retirada del sistema para sustitución de componentes desgastados o resolución de averías, serán totalmente accesibles desmontables y montables desde el lado del andén.

3.23.6 Funcionamiento general (estándar)

El funcionamiento del sistema Puertas de Andén en modo estándar, es un funcionamiento automático. No necesita la participación de personal de la explotación.

El equipo de control del sistema Puertas de Andén, controla el estado en el que se encuentran todas las puertas de una estación, y no permitirá la entrada de un tren si alguna de la puertas no está completamente cerrada, en este caso, el sistema no estará en modo estándar y requerirá un tratamiento específico.

Suponiendo que todas las puertas están correctamente cerradas, el sistema de señalización informa al sistema puertas de andén que un tren va a estacionarse en un andén.

El sistema de señalización informa al sistema de Puertas de Andén, cuando el tren está correctamente posicionado y a velocidad V=0. Es en este momento cuando las puertas de tren y las del andén se abren de forma simultánea.

Transcurrido un tiempo determinado (indicado por sistema de señalización embarcado), éste da la señal para el cierre de las puertas (andén y tren). El sistema puertas de andén autoriza la salida del tren, sólo cuando tiene todas sus puertas correctamente cerradas (modo estándar). En este momento informa de este hecho al sistema de señalización y se autoriza la salida del tren.





Es necesario reseñar que el tren se puede estacionar en cualquier andén, es decir, si por motivos de operación un tren debe entrar en sentido contrario al que lo haría normalmente, el sistema de señalización informará al sistema de control de Puertas de Andén y éste funcionará acorde a la nueva operación.

El cambio de andén se deberá indicar por el sistema de Información al Viajero a los usuarios que estén en la estación, y a los usuarios que estén en el interior del tren serán informados por el sistema de megafonía del tren.

3.23.7 Funcionamiento del Sistema en Modo Degradado

El sistema de Puertas de Andén, será capaz de responder de forma segura ante fallos que se puedan producir en las instalaciones de la estación que estén relacionadas con el sistema Puertas de Andén. Los ámbitos de afección serán los siguientes:

- Fallo en la comunicación tren-tierra
- Inhabilitación temporal de una puerta de andén o de un tren
- Conducción de trenes en modos inferiores al automático

El sistema de Puertas de Andén responderá ante estas situaciones garantizando el todo momento la seguridad.

- El sistema de señalización en tierra, al tener constancia de la presencia de un tren correctamente posicionado y con velocidad =0, ordenará la apertura de las puertas.
- Existirá el modo de inhabilitación temporal de una puerta de andén y por lo tanto su homóloga en el tren.
- Existirá el modo de apertura manual desde el andén donde un operario tendrá que ir al panel de accionamiento manual del andén para abrir las puertas.

3.23.8 Arquitectura del sistema

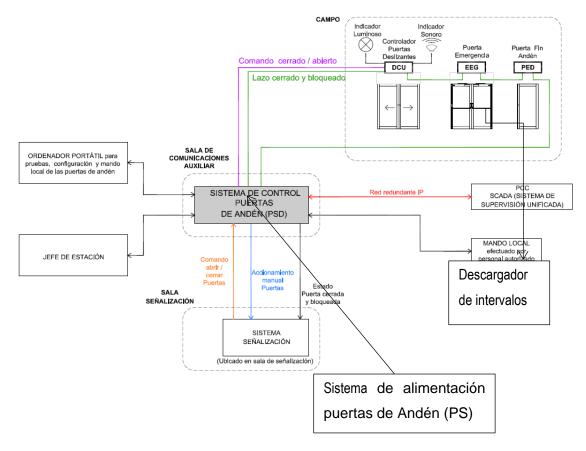
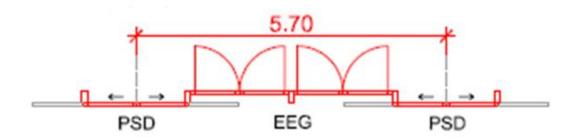
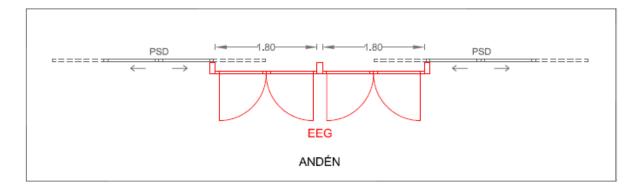


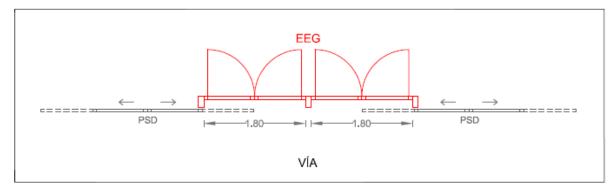
Figura 58.-Arquitectura del sistema de puertas de andén

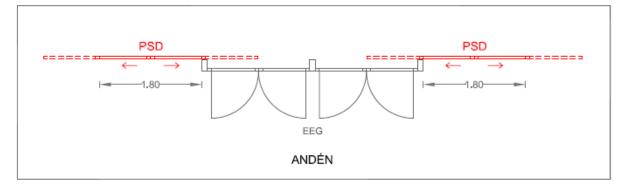
3.23.9 Esquema de dimensionamiento y distribución puertas emergencia y puertas deslizantes











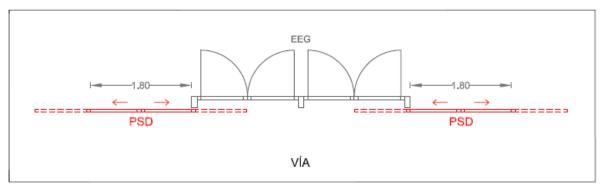


Figura 59.- Esquema de dimensionamiento y distribución puertas de emergencia y puertas deslizantes

El número de puertas deslizantes que se van a instalar en cada andén, de cada estación, asciende a 24 (andén individual). En caso de andén común, este número se duplicará.

El número de puertas de emergencia que se van a instalar en cada andén de cada estación asciende a 23 (andén individual). En caso de andén común, este número se duplicará.

El número de puertas fin de andén que se van a instalar en cada andén de cada estación asciende a 2 (andén individual o común).

La longitud de los paneles fijos a instalar en cada andén de cada estación está en función de la longitud del andén.

3.24 Sistemas de comunicaciones

3.24.1 Sistema de Billetaje

El sistema de billetaje a implantar en la PLMB deberá disponer de las siguientes funcionalidades en lo relacionado al equipamiento presente en el sistema:

Venta de Títulos de transporte

Los títulos de transporte para la PLMB, podrán será adquiridos por los usuarios mediante la Venta automática o la Venta Manual.

Venta Automática

Con esta alternativa será necesaria la instalación de Máquinas Automáticas Expendedoras de autorizaciones de uso en los vestíbulos de las estaciones.

Estas máquinas deberán llevar instalado un interfono conectado con el operador de Ayuda al Cliente y el operador de Estaciones del PCC para que el usuario pueda solicitar información o ayuda en caso de necesitarlo. Se contemplará la venta para personas con movilidad reducida (PMR).

Los equipos deberán estar diseñados y fabricados para su uso por personas con movilidad reducida (PMR).





Venta Manual

Con este tipo de venta, será necesaria la instalación de puntos de venta manual en las taquillas de las estaciones, así como en otros puntos de venta externos, relacionados con los medios de distribución de billetes contemplados en el SITP.

Estos equipos tienen el requerimiento de necesitar personal que los controle, por lo que es necesario que en las estaciones se disponga de personal de la compañía.

El personal de la estación, mediante este puesto de venta, deberá poder realizar la expedición o sustitución de autorizaciones de uso, y proporcionar información genérica al usuario sobre (horarios, títulos de transporte, etc.).

Validación Títulos de Transporte

Las validadoras tendrán como objetivo principal controlar las entradas y/o salidas de los viajeros, mediante la validación/cancelación de las autorizaciones de uso, minimizando el fraude.

Las puertas de acceso flap permitirán, mediante la presencia de sensores, controlar la posición de los usuarios durante el recorrido del paso, permitiendo determinar el sentido del mismo asegurando de este modo el correcto uso del sistema.

Junto a cada batería de pasos para PMR se debe disponer un interfono conectado al puesto de operador de estaciones del PCC, que permitirá al usuario solicitar información o ayuda en el caso de que sea necesario.

Existirán cámaras en los vestíbulos dedicadas a la batería de pasos para poder visualizar los flujos de gente que acceden por las puertas flap.

Las validadoras deberán disponer de diferentes modos de funcionamiento.

Los modos básicos de operación serán los siguientes:

Pasos para personas de movilidad reducida

Las taquillas de las estaciones se deberán dotar de pulsadores, uno para la apertura asistida del paso para personas de movilidad reducida (PMR) y otro para el desbloqueo inmediato de todos los muebles en caso de emergencia, que es un pulsador antipánico con rearme autorizado (con llave de control).

Medios de pago

El sistema de venta de títulos deberá soportar el pago de títulos de transporte, mediante tarjetas de débito y crédito, para lo cual se deberá realizar una interfaz con la entidad bancaria, que permita la validación de la tarjeta y el cobro de la misma.

El sistema deberá soportar el pago de autorizaciones mediante las monedas y billetes de curso legal de Colombia.

Opcionalmente, para tener un mayor control del fraude, se podrá realizar el control de autorizaciones de uso mediante personal a bordo de los trenes, a través de terminales portátiles para la inspección de autorizaciones.

Cancelación manual

Los equipos deberán poder realizar la validación y recarga, y la expedición de recibos.

El sistema de billetaje deberá estar integrado con el sistema de transportes público de la Ciudad de Bogotá, de tal forma que se permita el intercambio de pasajeros de un sistema de transporte al otro.

El proceso de cancelación de títulos de transporte, deberá tener asociada la función del registro de variables asociadas al título, por ejemplo hora de uso, estación de entrada, estación de salida, valor del recorrido, etc. Esto con el fin de alimentar las bases de datos del sistema parar propósitos de registros estadísticos y planificación y reprogramación operacional del sistema metro.

Sistema Integrado de Recaudo

El Sistema Integrado de Recaudo permitirá el manejo y el control centralizado del dinero, reducirá los tiempos de acceso, permitirá trasbordos atendiendo la estructura tarifaria, y brindará la posibilidad de efectuar integraciones virtuales, sin necesidad de grandes estaciones de transferencia.





El sistema Integrado de Recaudo se basará en un esquema de caja única asociado al manejo de dinero por una entidad vigilada e independiente de los concesionarios de transporte. Se diseñará para que se trate de un mecanismo confiable y seguro, que permitirá contar con la información requerida para la compensación de los diferentes agentes del Sistema.

Tarjetas TISC

Se prevé que existirán los siguientes tipos de tarjetas:

- Tarjetas anónimas: albergan títulos de transporte de uso multipersonal (títulos univiaje, bonos multiviaje, títulos basados en monedero, etc.). Estas dispondrán de un diseño predeterminado de fábrica y no contendrán datos personales del usuario ni interna ni externamente.
- Tarjetas personalizadas: Albergarán títulos de uso personal y serán personalizadas en los puntos de venta y personalización presentes en las taquillas de las estaciones con los datos de usuario impresos externamente y grabados electrónicamente

El medio de pago que será utilizado en el Sistema Integrado de Recaudo será la Tarjeta Inteligente Sin Contacto (TISC), con la funcionalidad básica para permitir la integración operativa y tarifaria entre distintos modos. Para la emisión de títulos de transporte se plantea la tarjeta inteligente sin contacto (TISC) microprocesada que cumpla el estándar ISO/IEC 14443 en sus 4 partes.

3.24.2 Sistema de Interfonía

El sistema de Interfonía será totalmente independiente respecto al sistema de Telefonía. No obstante se deberán proporcionar todas aquellas interfaces necesarias para alcanzar los requerimientos de integración necesarios, a través de gateways.

Se permitirá el establecimiento de llamadas de información o emergencia por parte de los usuarios de la línea desde las principales zonas públicas de estación (vestíbulos, líneas de billetaje, ascensores, andenes,...), en las zonas de evacuación (salidas de emergencia, túneles,...).

En locales técnicos y subestaciones también se dispondrá de interfonos que permitan la comunicación con el personal técnico, dado que se trata de zonas de acceso restringido y por lo tanto existe un control de accesos. En este caso el sistema de interfonía servirá de apoyo al sistema de control de acceso.

Otras características típicas de los sistemas de Interfonía, que deberán garantizarse, son las siguientes:

- Capacidad para la integración de cualquier tipo de interfono
- Cobertura de todas las funcionalidades estándar y avanzadas de un sistema de Interfonía, como por ejemplo: redirección de llamada, desvío de llamada, restricción de llamada, llamada en espera,...
- Monitorización periódica y configurable del estado del interfono y de sus principales elementos internos, así como de la línea (corte de línea)
- Grabación de todas las llamadas de voz establecidas en la red, tanto internas como externas, en una única plataforma de grabación global de la línea, pudiéndose gestionar dichas grabaciones mediante interfaz única o directamente desde la aplicación nativa del sistema de Interfonía
- Interaccionar con el sistema de video vigilancia (CCTV) a fin de facilitar una identificación visual del usuario que inicia la llamada
- Gestión operativa del sistema, permitiendo, entre otras, la administración dinámica de terminales, extensiones y abonados, gestión de grabaciones así como exportación de informes y estadísticas referentes a uso de red, número de llamadas, tarifas...
- Administración técnica del sistema, permitiendo la supervisión completa y continuada del sistema,
 la actualización y/o modificación de parámetros así como la exportación de informes y estadísticas de alarmas e incidencias.

El sistema de interfonía para la PLMB deberá ofrecer las funcionalidades particulares que se detallan a continuación:

- Llamadas en modo Full-Duplex, Hot-line manos libres
- Llamadas pre-programadas configurables, llamada general, llamadas a grupos, etc.
- Rellamada secuencial
- Cierre del enlace por temporización, inactividad, recepción, línea ocupada, actuación del pulsador,...
- Llamada en espera
- Priorización de llamadas
- Mensajes pregrabados de atención al usuario: Llamada iniciada, Línea ocupada, etc.
- Alerta visual del proceso de llamada
- Escucha remota





- Deberá permitir que cada interfono sea capaz de generar una alarma al detectar un sonido superior a un nivel sonoro y tiempo prefijado, de manera que pueda detectar estados de pánico de usuarios en ascensores, etc.
- Configuración desde un teléfono remoto

En cuanto al diseño técnico, se definirá un sistema de Interfonía basado en tecnología IP, lo cual redundará en una mayor integración con todos los sistemas de comunicaciones existentes en la PLMB.

En el diseño del sistema se considerarán los siguientes elementos y criterios particulares:

- Cobertura de interfonos y consolas
- Redundancia de elementos críticos
- Sistema de grabación integrado
- Integración con el sistema de video vigilancia (CCTV)
- Consola de voz integrada

3.24.3 Sistema de Megafonía

Funcionalidad del Sistema

El sistema de megafonía permite la difusión de mensajes sonoros de información en las estaciones de la línea a usuarios, personal de explotación y mantenimiento, a los Talleres y Cocheras así como al material móvil.

La megafonía está generalmente controlada remotamente desde los puestos de operador del PCC, y de forma local mediante consola microfónica para megafonía de estación (ubicado en la sala del jefe de estación) y una consola microfónica embarcada para comunicar el personal de operación con los pasajeros de un tren.

La sonorización se divide en las siguientes zonas:

- Estaciones
 - Accesos a la estación
 - Vestíbulos y pasillos de interconexión

- Andenes
- Salidas emergencia (incluida la sonorización a lo largo del túnel para apoyo a la evacuación en caso de emergencia)
- Ascensores
- Locales y dependencias técnicas
- Talleres y Cocheras
 - Playa de vías
 - Talleres
 - Oficinas y vestuarios
 - Locales y dependencias técnicas
 - Accesos a los talleres, cocheras y parking (si aplica)
- Material móvil

Los diferentes actores implicados en el sistema de megafonía son:

Operador del PCC

Los operadores del PCC, son los encargados de supervisar la línea de Metro. Desde los puestos de explotación del PCC, utilizan los sistemas de megafonía para difundir los mensajes e informaciones a los pasajeros situados en las estaciones de Metro.

Los operadores del PCC reciben una formación con el objetivo de aprender todas las funcionalidades que el sistema de megafonía tiene y que ellos aplicarán desde su puesto de operador.

Agente de mantenimiento

Los agentes de mantenimiento pueden interactuar con el sistema de megafonía en el caso de una intervención sobre un dispositivo (altavoz, central de potencia, puesto de operador, servidor de megafonía, micrófono y controlador del sistema) o una actualización del software.

- Personal de la estación

El personal de estación podrá emitir uno o varios mensajes simultáneamente a diferentes zonas de la línea pudiendo seleccionar el modo de emisión (manual o automático) y la naturaleza del mensaje (vocal o pregrabado).

Administrador

El administrador es el encargado de la configuración del sistema de megafonía del Metro

Pasajero





Los viajeros no operan directamente sobre el sistema de megafonía, pero los mensajes se envían a ellos.

Solución técnica

La solución para este sistema se basará en estándar de comunicaciones abierta e interoperable con sistemas de otros proveedores, minimizando la dependencia de fabricantes, aumentando la escalabilidad y siguiendo normativa internacional. Las características a cumplir serán:

- Basado en una solución IP (medio de transporte una red IP) para el envío de datos y voz del sistema de megafonía desde el PCC hasta cada una de las estaciones o zonas de megafonía.
- En cada estación se ubica una central, de potencia determinada (acorde a las dimensiones de la estación y las necesidades de sonorización), la cual está conectada a la red IP antes mencionada. Desde cada central se transmite la voz hacia los altavoces que alimenta.
- El sistema será enteramente compatible con la norma EN-60849 (Sistemas electro-acústicos para servicios de emergencia). Su principal funcionalidad es la de difundir de forma rápida y eficiente mensajes pregrabados o en tiempo real a múltiples zonas de la línea. Permitirá la emisión de alertas de emergencia y/o evacuación de las instalaciones por parte de los viajeros.
- Dado que se trata de un sistema crítico, se preverá la creación de una VLAN con QoS que permita priorizar el tráfico del sistema de megafonía frente a otros no críticos.
- La difusión de mensajes por el sistema de megafonía reposa sobre una arquitectura centralizada. El servidor de megafonía se instalará en la sala de servidores del PCC (2 servidores; el principal y el de respaldo), para salvaguardar y almacenar los mensajes pregrabados.
- Los equipos de megafonía se instalarán en los armarios técnicos, los cuales cumplirán la normativa en vigor. Estarán protegidos contra choques, las vibraciones y las condiciones ambientales adversas.
- El número y el tipo de altavoces será determinado a partir de planos detallados de estaciones y mediante simulaciones. Se garantizará la audición de los mensajes.
- Los equipos de sonorización (codificadores y decodificadores de audio, servidores y puestos de trabajo) estarán conectados a la red de comunicaciones general (red multiservicio) mediante switch de comunicaciones. Los switch de comunicaciones también estarán integradas en los armarios técnicos a ubicar en las distintas estaciones.
- La tensión suministrada a los equipos de megafonía serán 120 Vac 60Hz

- Todos los sistemas a instalar en las estaciones cumplirán la norma EN 54-16 en cuanto a control y señalización, y cumplirán la norma EN 54-24 para los altavoces. La comunicación de todos los módulos en el PCC se realizará a través de la red multiservicio.
- El sistema de megafonía a instalar, es un sistema de evacuación y de información a los viajeros, ya que los dos sistemas comparten los equipos tanto en las estaciones como en el PCC
- El sistema tendrá capacidad de control, supervisión de todos sus componentes, desde el micrófono hasta el altavoz ubicado en la estación.
- La configuración de todos los componentes se efectuará desde un PC. Este PC sólo es necesario para efectuar la configuración, ya que el sistema puede funcionar de forma automática sin él.
 También se puede utilizar este PC para llevar un seguimiento del estado del sistema y para la realización de acciones necesarias.

La tecnología utilizará como medio de transporte una Red (multiservicio) para el envío de datos y voz, del sistema de megafonía desde el PCC hasta cada una de las estaciones o zonas de megafonía.

En cada estación se ubica un procesador de audio de megafonía el cual está conectado a la red IP antes mencionada por medio de un switch. De la red recibe los mensajes a transmitir y los datos de control. Desde cada procesador de audio se transmite la voz para los procesos de amplificación y por último se alimentan los altavoces con señales de audio.

En cada estación se instala una consola microfónica para que el operador local de la estación tenga la posibilidad de enviar mensajes locales a los altavoces. Además, el sistema de megafonía estará provisto de entradas de audio, en las que sea posible inyectar señales de audio procedentes de otros dispositivos y ser reproducidos por el mismo sistema de megafonía, incluyendo la reproducción de mensajes emitidos desde un terminal telefónico o desde un terminal TETRA.

Los procesadores de audio harán un control a nivel físico de los altavoces que se quiere que transmitan el mensaje de voz y los que no. Dicha información también se puede enviar como información del sistema de megafonía a través de la red IP desde el PCC. En cada estación, y conectados al procesador de audio, se ubicarán diversas sondas microfónicas y mediante el Control Automático de Ganancia (CAG) se ajustará automáticamente el nivel del sistema para compensar el ruido ambiental. Como medida complementaria para compensar el ruido ambiente se propone la repetición de mensajes.





El material móvil irá equipado con un sistema de megafonía embarcado que permitirá el tratamiento de VoIP dentro del vehículo. Este equipo será capaz de reproducir mensajes pregrabados que serán reproducidos automáticamente según vaya circulando el vehículo por su recorrido.

3.24.4 Sistema de Transmisión de Voz y Datos

Funcionalidades del Sistema

El objetivo de la red de nivel físico será proporcionar un medio de transmisión físico fiable y de alta capacidad para ofrecer conectividad y transporte a los diferentes sistemas y servicios en cualquier ubicación de la línea.

La estructura de la red de nivel físico cumplirá con la normativa EN 50173 (ISO 11801), siendo necesaria la definición de los distintos niveles.

Red de nivel físico

- Subsistema Campus (o Cableado Troncal): Interconecta estaciones, talleres y cocheras y PCC.
- Subsistema de Distribución (o Cableado Vertical): dentro de un mismo emplazamiento, de los citados, interconectará las principales salas y locales técnicos
- Subsistema Horizontal (o Cableado Horizontal): acceso final a usuarios y elementos finales.
- Subsistema de Administración: proporcionará puntos organizados de interconexión entre subsistemas de cableado. Los elementos de conexión ofrecerán una estructura altamente organizada, escalable y de alta capacidad.

Redes de Transmisión de Voz/Datos

Desde el punto de vista de la transmisión de voz y datos, tal como se ha indicado en la introducción del presente documento, se estructurará en: Nivel de acceso, Nivel de *Core*/Distribución y Nivel de *Backbone*. Además, el sistema de transmisión de voz y datos dispondrá de un nivel funcional de gestión, permitiendo la administración integrada de todos los elementos de la red.

Dará cobertura a la totalidad de servicios de la PLMB que requieran conectividad tanto a nivel de puntos de acceso como de requisitos de transporte, haciendo uso principalmente de la red de nivel físico.

El sistema deberá dar servicio, al menos, a los siguientes subsistemas:

- Red de Radiocomunicaciones de voz y datos
- Telefonía Automática e Interfonía
- Interfonía
- Megafonía
- Sistema de Información al Viajero
- CCTV Fijo y Embarcado
- Cronometría
- Billetaje
- Control de Accesos
- Puertas de Andén
- Sistema de supervisión unificada
- Señalización y control ferroviario

Solución Técnica

La red de nivel físico deberá proporcionar a la PLMB el soporte físico para la transmisión de voz y datos de alta capacidad. Es por ello que deberá proporcionar una alta fiabilidad y una gran disponibilidad, además de poseer un alto nivel de redundancia. Esta red de transmisión digital deberá ser capaz de transmitir señales de voz, datos y vídeo, con capacidad para soportar todos los servicios requeridos a corto, medio y largo plazo.

Para el diseño de la red física se empleará la definición de cableado estructurado según la normativa EN 50173 (ISO 11801). Se definirán, según dicha norma, los siguientes niveles:

- <u>Nivel Campus</u> (o de Cableado Troncal), que interconecta estaciones, talleres y cocheras, y PCC (principal y *backup*).
- <u>Nivel de Distribución</u> (o de Cableado Vertical), dentro de un mismo emplazamiento, interconecta las salas de comunicaciones principales y las salas de comunicaciones auxiliares.
- Nivel Horizontal (o de Cableado Horizontal), proporciona acceso final a usuarios y elementos finales.





 <u>Nivel de Administración</u>, proporciona puntos organizados de interconexión entre subsistemas de cableado. Los elementos de conexión ofrecerán una estructura altamente organizada, escalable y de alta capacidad.

Respecto a la red de transmisión de datos deberá dar capacidad de transporte a todos los subsistemas de comunicaciones, así como a otro sistema ajeno que sea necesario conectar a la misma.

La red deberá dar servicio a toda la línea e irá soportada en el medio físico anteriormente descrito.

Para la red de voz y datos se definirán tres niveles funcionales típicos:

- Nivel de backbone, destinado a ofrecer comunicación de alta capacidad para la conexión de grupo de estaciones con el PCC o con otras redes de comunicación
- <u>Nivel de core/distribución</u>, destinado a ofrecer comunicación dentro de una estación o entre estaciones pertenecientes a grupos así como entre unidades o grupos de unidades de material móvil y PCC.
 También servirá para ofrecer la interconexión entre otras oficinas de metro como administrativas, seguridad, túnel, etc.
- <u>Nivel de acceso</u>, destinado a ofrecer los puntos de acceso finales de red, tanto a nivel de estaciones, talleres y cocheras, interior de las unidades de material móvil o PCC, así como integrar como una red global los elementos finales de unidades móviles

3.24.5 Sistema de Radiocomunicaciones

Funcionalidades del Sistema

El Sistema de Radiocomunicaciones de Voz y Datos contempla la implementación de una red móvil de alta seguridad para servicios de voz y datos de baja velocidad a lo largo de toda la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB), que ofrecerá las siguientes funcionalidades generales:

• El sistema especificado proveerá un servicio de radiotelefonía privada que permitirá la comunicación entre el personal de explotación, seguridad, mantenimiento y otro personal de metro, así como comunicación tren-tierra únicamente para sistemas embarcados que requieren baja velocidad (Cronometría, Megafonía, Interfonía, Telefonía, etc).

- El Sistema de Radiocomunicación ofrecerá comunicaciones tanto de voz como de datos, con tiempo de establecimiento de llamada reducido, sencilla utilización y con posibilidad de prioridades de llamada, permitiendo la creación de grupos, gestión de llamadas, envío de mensajes, etc.
- Establecimiento y recepción de llamadas con sistemas de voz externos pudiéndose soportar cualquier tipo de tecnología vigente.
- Capacidad para la operación local y aislada en caso de pérdida de conmutación con el PCC.
- El sistema permitirá establecimiento y recepción de llamadas de la Red Telefónica Pública Conmutada a través del Sistema de Telefonía. De forma que el Sistema de Radiocomunicaciones estará interconectado con el Sistema de Telefonía y el Sistema de Interfonía pudiendo realizar llamadas entre los diferentes sistemas de voz.
- El sistema tendrá la funcionalidad de grabar todas las llamadas de voz y datos del sistema en la plataforma de grabación global de la línea. Posibilitando la gestión de las grabación mediante la aplicación nativa del Sistema de Radiocomunicación. Está plataforma estará compartida con los sistema de Telefonía e Interfonía. De la misma forma, el Sistema de Radiocomunicaciones, permitirá su propia Gestión Operativa y Administración Técnica para poder modificar, actualizar o supervisar parámetros del sistema.

El sistema para la PLMB deberá ofrecer las siguientes funcionalidades particulares:

- Comunicación de Voz
 - o Entre dos equipos radio.
 - Desde un equipo radio a un grupo de equipos
 - o Entre terminales radio y una unidad de línea
 - Entre Sistema de Radiocomunicaciones y Sistema de Telefonía Privada e Interfonía
 - Entre la red trunking digital y otros sistemas de comunicaciones.
- Comunicación de Datos
 - Mensajes de estado
 - Mensajes de datos cortos
 - Mensajes en modo circuito y modo paquete

Solución Técnica

La propuesta deberá contemplar la implantación de un sistema de radiocomunicaciones digital basado en tecnología TETRA, por ser una tecnología estándar, digital, multifabricante, con asignación dinámica de





canales, con un elevado nivel de prestaciones y un estado de maduración técnica suficiente. El sistema incluirá un Nodo Central de Conmutación (principal y redundante para proporcionar redundancia geográfica) y un mínimo de 28 emplazamientos de cobertura (Estaciones Base de Zona) equipados con sus respectivos transceptores y elementos de control. El Nodo Central de Conmutación (SCN) se ubicará en el PCC principal y se replicará en el PCC backup.

Las estaciones base de zona, se prevé instalar una por estación (situada en la sala de comunicaciones principal) y otras para dar servicio en el PCC y Talleres y Cocheras. Mediante el Sistema Radiante planteado (cable radiante y las antenas indoor) se dará la cobertura TETRA a los diferentes terminales en estaciones, túneles y alrededores. El material móvil llevará integrado un Terminal de Comunicaciones Embarcado para comunicarse con la red a través de sus respectivas antenas.

La propuesta contemplará a su vez un sistema para la captación de las portadoras de los diferentes sistemas de comunicaciones de los servicios de emergencia e incorporarlas al sistema para ofrecerles cobertura PLMB.

3.24.6 Sistema de Cronometría

• Funcionalidades del Sistema

El sistema de cronometría asegura la distribución de una referencia horaria (fecha y hora) a todas las estaciones, locales técnicos, talleres y cocheras así como a los diferentes equipos instalados en la línea de metro y en el material móvil:

- En el PCC
- En los talleres y cocheras,
- Todos los locales de explotación en la línea
- Estaciones: Andenes, vestíbulos, etc.
- Material móvil

El sistema de cronometría deberá asegurar igualmente, la sincronización de todos los equipos y subsistemas que hay en la línea, en los talleres y cocheras a través de la red multiservicio (CCTV, megafonía, telefonía, interfonía, etc.), y del material móvil a través de la red de radiocomunicaciones.

La función de sincronización permitirá asegurar:

- La sincronización de los equipos centrales del PCC
 - Los equipos a sincronizar están interconectados a los servidores NTP (redundados), mediante la LAN (Red de Servidores) que hay en el PCC. Todos los equipos conectados a la red de servidores obtendrán la referencia horaria de los servidores NTP.
- La sincronización de los equipos en línea
 - Los equipos en línea dependientes de cada uno de los sistemas y subsistemas de la PLMB, serán sincronizados a través de sus respectivos equipos centrales (servidores) en el PCC, mediante la red multiservicio, RMS.
 - La señal horaria procedente de los servidores NTP situados en el PCC, llega a cada estación a un servidor cliente NTP que hay instalado en un local técnico. Este cliente NTP hará las veces de equipo maestro de los relojes de la estación en una configuración Maestro-Esclavo.
- La sincronización de los equipos en el material móvil
 - Los equipos embarcados serán sincronizados a través de sus respectivos equipos centrales (servidores) en el PCC, que utilizarán la Red de Radiocomunicaciones para hacer llegar el código horario al material móvil. El gestor de comunicaciones embarcado en el material móvil, será el responsable de enviar la señal a los diferentes equipos de los subsistemas.

Los componentes del sistema de cronometría son los siguientes:

- Dos relojes patrones (servidores NTP). Sincronizables a través de GPS, con configuración modular instalados en el PCC. Se trata de una central horaria IP que actúa como reloj patrón del sistema y se encuentra redundado en la Sala de Servidores del PCC para garantizar la máxima disponibilidad del sistema. La hora de referencia la obtiene a partir de la señal GPS.
- Switch conmutador. Módulo de monitorización y conmutación de los servidores NTP, que se situará en la sala de servidores. Cuando está conectado a dos servidores NTP, este módulo permite convertirse en un servidor de tiempos con 2 bases redundantes de tiempos. En caso de fallo de uno de ellos, todas las salidas se conmutan del servidor NTP principal al backup. Dicha conmutación puede ser tanto de forma automática como manual. El switch monitoriza cuál de los dos servidores está operativo para hacer la conmutación.





- Antena GPS. Antena receptora de señal GPS, que se deberá instalar en el PCC con visión directa a los satélites de navegación Navstar. A través de esta antena la central horaria recibirá la señal con la información de la hora para proporcionarla al resto de los sistemas que así lo requieran.
- <u>Cliente NTP instalado en cada estación</u>. Equipo instalado en las estaciones, talleres y cocheras, encargado de distribuir la señal de sincronización horaria entre los relojes de estación, a través de la red Ethernet de la estación por direccionamiento IP.
- Relojes analógicos que proporcionan al pasajero información horaria. Se comunican con el cliente
 NTP mediante red Ethernet por direccionamiento IP. La sincronización horaria se distribuye desde
 el cliente NTP la red con el protocolo NTP en modo unicast, multicast o vía DHCP. Los relojes se
 ubicarán en los vestíbulos de cada estación, así como en andenes. Estos estarán sincronizados
 con la central horaria y deberán ajustar la hora de forma automática sin ningún tipo de intervención
 del personal de mantenimiento.
- Relojes digitales de diodos de Led para instalación en interior. Se comunican con el cliente NTP mediante red Ethernet por direccionamiento IP. La sincronización horaria se distribuye desde el cliente NTP la red con el protocolo NTP en modo unicast, multicast o vía DHCP. Se ubicarán en las zonas administrativas y locales técnicos de las estaciones.

Solución Técnica

Se utiliza una configuración basada en la utilización de dos servidores NTP redundados. Estos servidores estarán sincronizados por una antena que captará la señal codificada GPS (Global Position System) y difundirá los protocolos NTP a través de la Red de Servidores del PCC y de la red multiservicio de la línea.

En cada estación, taller, se instalará un servidor cliente NTP, el cual estará ubicado en la sala de comunicaciones de las estaciones. Este cliente recibe la señal horaria NTP de la red multiservicio, y la reenvía por medio de la red de datos de la estación, a los diferentes relojes conectados a esta red. Los equipos dependientes de otros subsistemas, conectados a la red de la estación, recibirán la señal horaria enviada por sus servidores centrales, a través de la red multiservicio.

En modo de funcionamiento normal se tomará como base de tiempos la que proporcione el servidor NTP en PCC, mientras que para el modo degradado (en caso de caída de la red multiservicio o del servidor NTP en PCC) la sincronización la realizará el servidor NTP cliente hasta el restablecimiento del modo

degradado, para los relojes. En el caso de los equipos de otros subsistemas, en caso de caída de la red multiservicio, mantendrán su propia base de tiempo hasta que la red vuelva a estar operativa.

3.24.7 Sistema de Información al Viajero (SIV)

Funcionalidades del Sistema

El Sistema de Información al Viajero ofrecerá las siguientes funcionalidades:

- El sistema deberá informar, en tiempo real, a los viajeros de la disponibilidad de la línea y proporcionar el tiempo de espera y la destinación de los próximos vehículos.
- El sistema permitirá mostrar mensajes publicitarios a los usuarios de las líneas, en los paneles o pantallas destinadas a ello.
- El intercambio y despliegue de información relacionada con el Sistema de Transporte Público de Bogotá (SITP).
- El sistema permitirá recoger información de Servicios Web provenientes de internet para informar al viajero.
- Capacidad para la generación, edición y gestión de todo tipo recursos gráficos, de video y de audio.
- El sistema funcionará de manera completamente autónoma y automática, sin la intervención de ningún operario.
- El sistema permitirá también la gestión de todos los elementos de forma manual y por separado.
- Modificación de los parámetros del sistema.
- El sistema permitirá la generación de ficheros históricos en los que se grabará toda la información.

Solución Técnica

El SIV permitirá informar a los usuarios de metro sobre el funcionamiento de la Línea en tiempo real y de manera fiable, permitiendo mejorar la calidad del servicio ofrecido.

El SIV deberá informar, en tiempo real, a los viajeros de la disponibilidad de la línea, deberá proporcionar el tiempo de espera y la destinación de los próximos vehículos.

Toda esta información, será mostrada al usuario mediante paneles informativos tipo (Led, TFT, etc.), ubicados en las estaciones (andenes, vestíbulos y lugares de paso).





Además, el SIV permitirá mostrar mensajes publicitarios en las estaciones a los viajeros. A nivel funcional serán independientes los sistemas de información a viajero y el de emisión de mensajes publicitarios, aunque sirvan las mismas vías de comunicación para dirigir la información hacia las pantallas, paneles o tótems. El objetivo final es que la emisión de mensajes publicitarios no afecte al funcionamiento del SIV.

El SIV estará gestionado desde un servidor instalado en el PCC, que dispondrá de una aplicación específica para la gestión de este sistema.

El Sistema de Información al Viajero deberá dar cobertura de servicio a los siguientes emplazamientos:

- Estaciones
 - Accesos a la estación
 - o Vestíbulos y pasillos de interconexión
 - Andenes
- Material móvil
 - o En el interior del material móvil

El SIV deberá proporcionar dos tipos de información:

- Una información dinámica:
 - Indicación del número de línea y la destinación de la línea
 - Indicación de la hora de paso o el tiempo de espera prevista para el próximo vehículo
 - Presentación de mensajes generados desde el PCC
 - Se tendrá en cuenta las personas con movilidad reducida
 - o Los mensajes pueden ser emitidos en varios idiomas español / inglés
 - La información será actualizada como mínimo cada 30 s
- Una información estática:
 - La hora actual

3.24.8 Sistema de Telefonía

Funcionalidades del Sistema

El Sistema de Telefonía a implantar estará concebido como un servicio de comunicación de voz para el uso del personal de explotación de la línea, ubicado en PCC y oficinas; estaciones, subestaciones

eléctricas, talleres y cocheras, así como cualquier otro local técnico que sea necesario definir para la correcta explotación del sistema.

El sistema deberá de garantizar las siguientes funcionalidades:

- Establecer llamadas entre personal interno de la PLMB.
- Establecer llamadas entre personal interno de la PLMB y extensiones de la Red de Telefonía Pública Conmutada (RTPC), permitiendo el establecimiento de llamadas con el exterior de la línea, así como edificios administrativos que se encuentren alejados de esta.
- Capacidad para la recepción y envió tanto interno como externo de servicio de fax.
- Debe permitir establecer llamadas con otros sistemas de voz como Interfonia o Radiocomunicaciones de Voz y Datos.
- Capacidad de comunicación con el PCC u otras estaciones en caso de caída de la Red Multiservicio.
- Debe disponer de Telefonía de Emergencia en Túnel.
- El Sistema de Telefonía servirá de apoyo al sistema de radio digital TETRA.
- Grabación de las llamadas de voz y datos establecidas a través del sistema.
- Gestión operativa del sistema, permitiendo la administración dinámica de terminales, gestión de grabaciones, etc.
- Administración técnica que permitirá una supervisión completa y continuada del sistema.
- Cobertura de funcionalidades de un sistema de telefonía administrativa.

Solución Técnica

Se plantea un sistema de telefonía basado en tecnología IP que permita también la existencia de líneas analógicas seguras:

- El sistema estará basado en voz sobre protocolo IP (VoIP), a través de la red multiservicio, por lo que no es necesario implementar un nuevo entorno de red para la red de comunicaciones principal (no hace falta duplicar cableados, ni emplear fibras adicionales entre estaciones).
- El sistema empleará un servidor central, o Centralita IP. Para los sistemas de VoIP sólo es necesario que el terminal esté accesible vía IP, independientemente de su ubicación física, por lo que una única Centralita IP es capaz de gestionar los terminales telefónicos que sean necesarios independientemente de donde estén instalados.





- El sistema permitirá la existencia de Telefonía de Emergencia, para dar respaldo a la telefonía IP planteada en el caso de caída de las comunicaciones, que mantendrá la comunicación entre PCC y estaciones y diferentes puestos de emergencia del túnel, a través de la RTPC.
- La integración entre los sistemas de voz requerirá un sistema de grabación bajo una misma plataforma. De forma que se optará por un sistema transparente mediante una única aplicación.
- El sistema permitirá implementar sistemas redundantes y de alta disponibilidad. Los elementos considerados como críticos son aquellos encargados del control y operación del Sistema de Telefonía, es decir Centralita IP, Centralita de Emergencia, Media Gateway, Servidores y Sistema de Grabación los cuales deberán ser redundantes para una mayor fiabilidad y disponibilidad del sistema.
- Gestión simplificada, a través de interfaz web.
- Al estar basada la gestión del sistema en plataformas software es muy sencilla su integración con otras aplicaciones.

Con este sistema, se asegurará la comunicación mediante la red IP entre las siguientes instalaciones fijas:

- Salas enclavamientos
- Salas de comunicaciones
- Subestaciones
- Puestos de Jefe de Estación y Zona
- Salas de baja tensión
- Taquillas
- Talleres y cocheras
- PCC
- Edificios de administración

Y comunicación mediante la red de emergencia en las siguientes:

- Accesos de estaciones.
- Zonas de escaleras.
- Puestos de Jefes de Estaciones
- Salas de Incendios
- PCC
- Talleres y cocheras

Túneles

Arquitectura del Sistema

El Sistema de Telefonía engloba tres arquitecturas diferentes: Sistema de Telefonía IP, Sistema de Telefonía de Emergencia y Sistema de Telefonía de Emergencia en Túnel.

3.24.9 Sistema de Videovigilancia

Funcionalidades del Sistema

El Sistema de Videovigilancia a implantar estará concebido como un servicio de circuito cerrado de televisión que deberá permitir la visualización en tiempo real y de forma remota de los puntos que se consideren de interés en estaciones, subestaciones, talleres y cocheras y PCC. También se realizará una visualización del interior del material rodante.

Teniendo en cuenta el entorno de funcionamiento del sistema y las peculiaridades de las infraestructuras en entornos de metro, la solución que se ha adoptado es expansible y fácil de mantener y ampliar.

La solución deberá ser un sistema abierto y que implemente protocolos estándares de codificación y comunicación, de tal forma que se garantice la integración con sistemas de diferentes proveedores, evitando dependencias tecnológicas en caso de futuras ampliaciones y garantizando las actualizaciones y escalabilidad del sistema, siguiendo siempre la normativa internacional.

El sistema deberá permitir la grabación continuada y segura de imágenes para su posterior visualización y/o exportación a otras plataformas de reproducción / visualización, garantizando un periodo circular de grabación configurable. La visualización se llevará a cabo, de forma general, en el PCC, y de forma particular desde el cuarto del jefe de estación, desde donde será posible visualizar lo capturado por las cámaras dentro de las lindes de dicha estación, incluidos los túneles que confluyan en él. Asimismo, se podrá realizar una visualización puntual en cualquier otro punto que se considere de interés por parte de Metro de Bogotá.





El entorno de configuración será completamente parametrizable, permitiendo a un operador seleccionar un número variable de cámaras, modificar los atributos de las imágenes visualizadas, visualizar el estado de una cámara o iniciar la reproducción de una imagen grabada, entre otras.

Sobre las funcionalidades avanzadas que se ofrecerán al operador del PCC, destacan las siguientes:

- Detección automática de movimientos, objetos perdidos y aglomeraciones
- Detección automática de inicio de llamada en interfono
- Detección automática de obstaculización del objetivo
- Otras funcionalidades como el contador de personas (desde arriba), detección de cruces de líneas, detección de personas merodeando, etc.

El sistema de CCTV deberá dar cobertura, como mínimo, a los siguientes emplazamientos:

- Estaciones
 - Accesos a la estación
 - Vestíbulos
 - Máquinas de Billetaje
 - Pasadizos de interconexión
 - Ascensores y escaleras mecánicas
 - Andenes
 - Accesos a vía
 - Accesos a salidas de emergencia
 - Accesos a zonas técnicas
- Talleres y cocheras
 - Accesos
 - Zonas perimetrales
 - Playa de vías
 - Zonas técnicas
 - Accesos a oficinas
- PCC
 - Accesos a zonas técnicas
 - o Accesos a zona de operación
- Unidades de material móvil
 - Interior de los vagones

- Cabeceras
- Retrovisores
- Túnel Interestación
 - o Bocas de túnel
 - Interior de túneles
 - Salidas de emergencia de túneles
- Ramal Técnico
- Subestaciones eléctricas
 - Exteriores
 - Interiores

Solución Técnica

La solución para este sistema se basará en estándar de comunicaciones abierta e interoperable con sistemas de otros proveedores, minimizando la dependencia de fabricantes, aumentando la escalabilidad y siguiendo normativa internacional. Las características a cumplir serán:

- Basado en una solución IP (medio de transporte una red IP) para el envío de datos y video del sistema de CCTV hacia los grabadores y sistemas de gestión.
- Dado que se trata de un sistema crítico, se preverá la creación de una LAN dedicada para el transporte de video del sistema, tanto a nivel local (estaciones, talleres y cocheras, PCC y material rodante) como a nivel de interconexión del sistema entre talleres y cocheras, estación y PCC.
- El servidor de CCTV se instalará en la sala de servidores del PCC (el servidor principal (redundado) en el PCC y el de respaldo (redundado) en el PCC de respaldo)
- Desde cada punto de gestión de operación de estaciones o talleres se podrá acceder mediante el software de gestión del sistema de CCTV a los datos del sistema.
- En cada estación se dispondrá de un sistema de grabación y almacenamiento de video de las cámaras de la estación.
- En la sala de comunicaciones principal de cada estación se ubicará un armario técnico en el que se instalaran los switch de comunicaciones de la red LAN de CCTV, así como los sistemas de grabación y almacenamiento del sistema.
- La electrónica de red asociada será tipo PoE y PoE+
- Se dispondrá de modo adicional un segundo armario técnico en la sala de comunicaciones auxiliar en andenes para alimentar las cámaras ubicadas en la zona de andenes.





- Las cámaras se conectaran mediante cableado de cobre UTP Cat 6a o superior, y permitirán la alimentación PoE y PoE+, siempre y cuando el tendido de cable entre el armario técnico y la cámara no sea superior a 90 metros.
- Para los casos en que se supere la distancia de 90 metros será necesario realizar un tendido mediante fibra óptica y conversores fibra / cobre para la conexión de las cámaras. En este caso, la alimentación eléctrica de las cámaras se realizará mediante fuente de alimentación.
- El sistema tendrá capacidad de control, supervisión de todos sus componentes

3.24.10 Sistema Control de Accesos

Funcionalidad del sistema

El sistema de control de acceso e intrusión garantizará las siguientes funcionalidades:

- Control total de todas las zonas a controlar, permitiendo o denegando los accesos a las diferentes zonas restringidas.
- El personal autorizado estará equipado con una tarjeta de identificación y un código de acceso que le permite el acceso en caso de que la tarjeta no funcione.
- El acceso puede ser controlado por lector de tarjeta o biométrico.
- Todas las puertas de acceso controlado tendrán, como sistema redundante, una llave maestra.
- El sistema discriminará cinco tipos de puertas de acceso:
 - Puertas de acceso restringido.
 - o Puertas con control de acceso.
 - Puertas en rutas de evacuación.
 - o Puertas de salida de emergencia.
 - Acceso a los lavabos.
- El control, supervisión, gestión y mantenimiento del sistema se realizará desde el PCC, por parte de un operador de la PLMB.
- El sistema proporcionará al operador del PCC una aplicación con la que podrá realizar tareas como supervisión del estado de los puntos de control de acceso, apertura remota de puerta, gestión de listas blancas, anulación temporal de restricciones, gestión de visitas y acreditaciones, administración de los elementos de identificación personal, ver las personas que han entrado en las zonas con control de accesos, grabación en caso de acceso no autorizado y consulta y gestión de históricos.

- La red de comunicaciones será la Red Multiservicio que habrá en cada estación.

En el PCC existirá una integración entre los sistemas de CCTV, Interfonía y CCAA, de forma que la activación de una alarma del sistema de CCAA genera automáticamente la aparición de la imagen de video más cercana.

Solución técnica

Teniendo en cuenta el entorno de funcionamiento del sistema y las peculiaridades de las infraestructuras en entornos de metro, se realizará una solución sencilla y fácil de implantar, valorando además que sea expansible, fácil de mantener y ampliar.

La solución para este sistema se basará en estándar de comunicaciones abierta e interoperable con sistemas de otros proveedores, minimizando la dependencia de fabricantes, aumentando la escalabilidad y siguiendo normativa internacional.

El sistema debe permitir implantar permisos de acceso distintos de acuerdo a los perfiles de personal del operador o explotador de la línea, quedando registrada en (ya sea en una base de datos o en un fichero log) en el PCC, la fecha y hora del acceso (hasta una precisión de 1 segundo) de cada usuario a las áreas sobre las cuales se tenga control de acceso, siendo posible la reconstrucción de los movimientos del personal por las instalaciones de red de metro.

El registro de eventos, admisiones, no admisiones, intrusiones, etc., se deberá almacenar en una base de datos del PCC (con un sistema de gestión MySQL o similar) o en un fichero log en formato Standard. La monitorización deberá ser en tiempo real y en todo momento se podrá exportar la información a formato Excel y texto.

Dependiendo de la cantidad de usuarios los eventos podrán ser almacenados por un mínimo de 3 meses siendo posible la consulta de eventos en este periodo. Las puertas dotadas de este sistema deben disponer de:

- Sistema de comprobación de autorización de presencia (lector de tarjeta o biométrico).
- Elementos de bloqueo de cerraduras (electrocerraduras).
- Elementos de detección de apertura de puertas (contactos magnéticos).





- Elemento de apertura de puertas manual (cerradura con llave controlada).
- Elemento de desbloqueo de cerraduras (pulsador de solicitud de salida).

• Arquitectura del sistema

El sistema de Control de Accesos será un sistema centralizado basado en una estructura distribuida de tres niveles, de forma que el fallo en un nivel superior, no afecte a las funciones críticas de los niveles inferiores, provocando como mucho una limitación de las funciones no críticas que realiza.

Todos los equipos del sistema Control de Accesos estarán alimentados desde líneas seguras de U.P.S.

3.24.11 Sistema de Supervisión Unificada

Descripción general del sistema de supervisión unificado

Los avances tecnológicos y la necesidad de integración de sistemas y de aplicaciones heterogéneas, así como la necesidad de facilitar gran cantidad de información a diferentes niveles hacen necesario la instalación de un Sistema de Supervisión Unificado en el PCC y en las estaciones, como elemento aglutinador de todas estas necesidades.

El sistema de Supervisión Unificado permitirá entre otras:

- Disponer del primer nivel de supervisión de los diferentes sistemas instalados en la línea, mediante la adquisición y presentación centralizada de las principales alarmas o eventos de cada sistema a ser supervisado
- Facilitar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, gestión de recambios y obtención de estadísticas
- Relacionar acontecimientos y alarmas procedentes de cada sistema (correlación de eventos).
- Este sistema realizará:
 - Gestión de las alarmas y eventos por criticidad
 - Reconocimientos de alarmas (unitario o colectivo)
 - Correlación de alarmas
 - Visualización mediante planimetría de la zona, de lugar donde se ha producido la alarma.
 - o Generación de informes, estadísticas, etc.

Independientemente de esta plataforma, todos los sistemas de comunicaciones, dispondrán de una plataforma de gestión administrativa y de mantenimiento completa propia y específica de cada sistema (aplicación nativa), pudiéndose gestionar completamente todos los elementos de un subsistema, desde su propia plataforma.

Paralelamente, el Sistema de Supervisión Unificado, realizará una monitorización continua de todos los servidores y clientes informáticos utilizados como plataforma hardware de los sistemas de comunicaciones. Esta monitorización contemplará la supervisión de su estado de funcionamiento y los recursos utilizados.

El Sistema de Supervisión Unificado, será escalable, permitiendo su ampliación por etapas, a medida de las necesidades de expansión y suficientemente flexible para poder desarrollar y modificar aplicaciones existentes, online, sin causar ningún quebranto en la operación normal de los equipos.

La fiabilidad del Sistema estará garantizada, procesando información en tiempo real, y realizando las tareas programadas de forma simultánea, sin pérdidas de datos, alarmas, avisos, etc.

Funcionamiento básico

El funcionamiento básico del sistema de supervisión unificada será el descrito a continuación

- El inicio de la sesión se realizará introduciendo password y username en la aplicación de Supervisión Unificada, desde la consola cliente que habrá en la sala de mantenimiento.
- La aplicación será configurable y parametrizable, generará informes, gestionará tipo de alarmas con sus umbrales de criticidad definidos, etc)
- La aplicación dispondrá de una gestión de perfiles de usuario con sus capacidades de operación
- Una vez que la aplicación está en funcionamiento, se recibirán los reportes de alamas e incidencias de cada sistema de comunicaciones. Los operadores de mantenimiento, al recibir la alarma concreta de un sistema determinado, actuarán siguiendo un protocolo preestablecido y perfectamente definido para ese tipo de alarma.
- Se podrán anular alarmas
- Se generarán informes y estadísticas de alarmas y eventos
- El cierre de la sesión se realizará en la consola cliente del sistema de Supervisión Unificada en la sala de mantenimiento



<u>Funcionalidades básicas del Sistema de Supervisión Unificado</u>

- El sistema tomará como modelo organizativo y de gestión el modelo FCAPS de la ISO
- El sistema permitirá realizar una gestión de alamas y fallos de cada uno de los sistemas gestionados.
- El sistema proporcionará mecanismos suficientes para realizar configuraciones remotas de los elementos o dispositivos de cada uno de los dispositivos gestionados
- El sistema proporcionará las herramientas para realizar una gestión de las configuraciones de cada uno de los sistemas gestionados, administrando y almacenando de forma segura las diferentes versiones de configuración existentes.
- El sistema permitirá gestionar y controlar el uso y consumo que cada usuario autorizado realiza sobre los recursos disponibles de cada uno de los sistemas gestionados
- El sistema proporcionará los mecanismos y las herramientas adecuadas para la gestión y mejora del rendimiento de cada uno de los sistemas gestionados.
- El sistema proporcionará los mecanismos y herramientas adecuadas para asegurar un uso seguro de la información y de los recursos, por parte de los usuarios autorizados, de cada uno de los sistemas gestionados.

Modos de funcionamiento

Modo normal

En el modo normal de operación, el Sistema de Supervisión Unificada, supervisa en tiempo real el estado de funcionamiento de todos los sistemas de comunicaciones, así como el estado de funcionamiento de los equipos asociados a los telemandos del PCC / PCC respaldo; mostrando por pantalla la monitorización de las alarmas generadas.

Además, en modo normal de operación, el Sistema de Supervisión Unificada, pondrá a disposición del mantenedor y administrador de sistemas un conjunto de sistemas de información (HW y SW) conectados a la red de datos, permitiendo de esta manera, el mantenimiento remoto de todos los sistemas y la administración de los telemandos.

Se mostrará por pantalla la monitorización y estado de las alarmas generadas

Modo degradado

Se distinguen los siguientes modos degradados:

- Fallo de la Base de datos del sistema de monitorización de elementos de comunicación
- Se pierde la capacidad de grabación y comparación de alarmas con los estados pasados. Sólo es posible visualizar las alarmas actuales
- Fallo del servidor del sistema de monitorización de elementos de comunicación
- Se pierde la capacidad de visualización y presentación de las estaciones de trabajo. El sistema continúa funcionando
- Fallo del servidor del sistema de monitorización de los elementos del PCC / PCC respaldo
- Se pierde la capacidad de adquisición y procesado de alarmas. El sistema queda fuera de servicio
- Fallo de conectividad con el PCC / PCC respaldo.

El Sistema de Supervisión Unificada, no puede comunicarse con los sistemas gestionados y por lo tanto queda fuera de servicio.

3.25 Gestión RAMS

RAMS es el acrónimo en inglés de Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad. La Gestión de la RAMS de un Sistema Ferroviario es, por tanto, el conjunto de todas aquellas actividades que se desarrollarán a lo largo de toda la vida del mismo para hacerlo fiable, disponible, mantenible y seguro. La Gestión de la RAMS será, por tanto, determinante en la calidad del servicio prestado por un Sistema Ferroviario y está regulada por las normas EN 50126, EN 50128 y EN 50129.

La RAMS es una disciplina transversal que afecta a todos los subsistemas técnicos (infraestructuras, material rodante, señalización, etc.) y a todos los actores (diseñadores, proveedores, operadores, mantenedores, etc) en función del instante considerado del ciclo de vida del sistema ferroviario. La siguiente figura muestra las diferentes fases del ciclo de vida de un sistema de acuerdo con la norma EN 50126 y en naranja el ámbito de actuación del Consorcio L1 durante este proyecto.





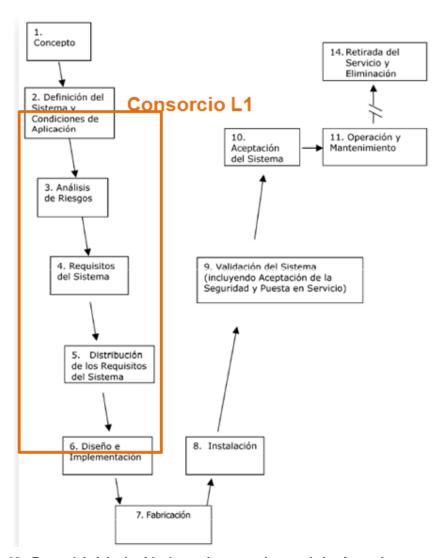


Figura 60.- Fases del ciclo de vida de un sistema y alcance de las fases de este proyecto.

Los documentos elaborados dentro de la Gestión RAMS se han estructurado según muestra la figura siguiente, en la cual se puede ver una columna a la izquierda dedicada a la RAM, una columna a la derecha, dedicada a la Seguridad; entre ambas, un documento específico de RAMS para describir los criterios que deberán seguir todos los software elaborados en los distintos subsistemas ferroviarios. Finalmente, se han marcado las interconexiones más importantes entre los distintos documentos elaborados.

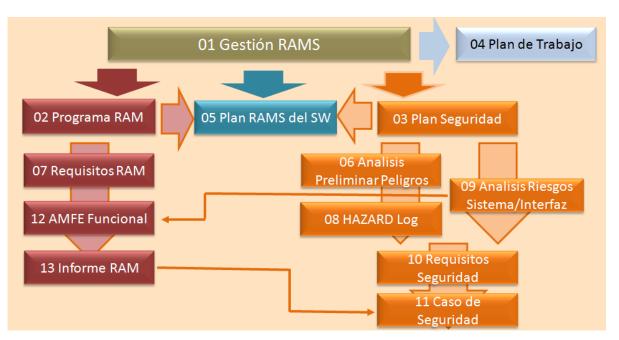


Figura 61.- Documentos elaborados para la gestión de la RAMS durante la fase de diseño.

A continuación, se describen los distintos documentos y sus aspectos más destacables.

Programa RAM

Objeto Establecer las responsabilidades, la relación con las demás actividades de

proyecto y los métodos necesarios para asegurar el cumplimiento de los

requisitos contractuales y la normativa aplicable.

Resultados Se estructura la PLMB en dos sistemas: Sistema de Transporte y Sistema de

Acceso.

Se establece la metodología de cálculo para la RAM de los subsistemas en

función de la configuración adoptada en el diseño.

Se analiza el objetivo de disponibilidad fijado en los Términos de referencia.

Se propone un intervalo de valores para la disponibilidad que se desarrollan y

justifican en documento posterior (Requisitos RAM).

Requisitos RAM

Objeto

Asignar los requisitos RAM que deberán cumplir los subsistemas, equipos y

componentes de la PLMB.

Analizar la viabilidad del objetivo de disponibilidad inherente establecido en los

Términos de Referencia del 99,99%,





Resultados Se propone para el Sistema Principal de Transporte una disponibilidad inherente

comprendida entre 99,18% y 99,99%.

Se asignan los requisitos RAM a cada subsistema, los cuales deberán incluirse

en las especificaciones técnicas correspondientes de cada producto.

AMFE Funcional

Objeto Analizar los Modos de Fallo -potenciales- y sus Efectos (AMFE) de las

funciones que se prevén implementar con los subsistemas de la PLMB.

Resultados Se establecen tres categorías de fallo.

Se analiza cómo afecta el fallo de cada función a la disponibilidad.

Se identifican las funciones que son críticas desde el punto de vista operativo.

Este documento servirá de base a los Contratistas para establecer las bases de

diseño de sus respectivos subsistemas, conjuntos o equipamientos

Informe RAM

Objeto Recoger los estudios sobre RAM realizados por el Consorcio L1 en las fases de

su responsabilidad.

Establecer las directrices para continuar el trabajo por parte de los Contratistas

de cada subsistema hasta su puesta a punto.

Resultados Establece la metodología para la predicción de la fiabilidad.

Determina las actividades para realizar el análisis de mantenimiento, obtener el

listado de recambios y herramientas necesarios y elaborar los planes de

mantenimiento.

Establece la metodología para el análisis de la disponibilidad.

Describe el proceso a seguir para la demostración de la RAM que es previo a la

puesta en servicio de cada subsistema y del Sistema de Transporte de la PLMB.

Plan de Seguridad

Objeto Definir la estrategia a seguir para el establecimiento de los requerimientos de

seguridad y las responsabilidades, actividades y métodos para asegurar el cumplimiento de los Términos de Referencia y las normas EN 50126 y EN

50129

Resultados Determina la organización a efectos de la seguridad para las diferentes fases

del proyecto (ISA) de acuerdo con la EN 50129. Establece la matriz para la evaluación de riesgos.

Determina el Principio adoptado para la aceptabilidad de los riesgos.

Establece la metodología para el análisis de riesgos

Análisis Preliminar de Riesgos

Objeto Identificar los posibles riesgos que pueden darse en cada subsistema.

Evaluar la severidad de cada riesgo a partir de la frecuencia de su ocurrencia y

la gravedad de sus consecuencias (matriz de severidad).

Resultados Se han identificado 468 riesgos potenciales que serán objeto de seguimiento

durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Registro de amenazas (Hazard Log)

Objeto Establecer las medidas de mitigación adecuadas inicialmente para los riesgos

identificados como Intolerables e Indeseables para que se conviertan en

Tolerables o Despreciables

Resultados Se ha creado un único registro con todos los riesgos y/o amenazas, en formato

tabla, válido para todo el ciclo de vida de la PLMB.

Análisis de los riesgos del sistema y de la interfaz

Objeto Identificar las funciones principales de cada subsistema,

Evaluar las consecuencias del fallo de las funciones.

Asignar los requisitos de seguridad necesarios para garantizar la seguridad de

cada subsistema.

Resultados Registro único de los posibles fallos de cada sistema, en formato tabla, válido

para todo el ciclo de vida de la PLMB.

Asignación del Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) a las funciones que lo

requieran.





Requisitos de Seguridad.

Objeto Recopilar los documentos que establecen y analizan los requerimientos de

seguridad del Sistema de Transporte para la PLMB.

Mostrar la metodología seguida

Resultados Se evidencia la importancia de cada función dentro de un mismo subsistema.

Se clarifica el rol de cada documento y su jerarquía en el estudio de la

seguridad

Plan de RAMS del Software

Objeto Definir la política, la organización y la metodología de desarrollo del software de

uso en la PLMB para que cumplan los requisitos RAMS del Sistema de

Transporte de la PLMB.

Resultados Evidencia la relación-integración- del software con su hardware.

Describe la certificación del software según su carácter: propietario, común o

modificado.

Determina criterios para adscribir los niveles de integración de seguridad (SIL)

del software.

Identifica los criterios para la validación del software antes de su puesta en

servicio

3.26 Material Rodante

Para desarrollar las especificaciones del Material Rodante fue necesario tener en cuenta ciertos condicionantes internos y externos.

Los condicionantes internos más importantes han sido: uno, que el material rodante diseñado debería circular en marcha automática sin conductor (denominado GoA4 según la norma EN 62290-1); dos, el diseño debería tener en cuenta la máxima seguridad de los viajeros, lo que condicionó la existencia de una puerta frontal para la evacuación de los mismos.



Figura 62.- Vista de tren automático con puerta frontal para la evacuación de los viajeros.

En cuanto a los condicionantes externos, el primero de ellos fue la necesidad de que el material rodante diera respuesta a la demanda prevista de 80.000 pphs para el año 2050 con una frecuencia de 90 s, lo que exigía que cada tren tuviera una capacidad de 80.000 pphs / (360 / 90) = 2.000 pasajeros; la carga normal se estableció para el criterio EL6 (es decir, con todos los pasajeros sentados y de pie a razón de 6 p/m²). Esta elevada capacidad exigió un estudio previo (202006-DE-PR24-DOC01) para conocer:

- Si existían trenes en el mercado con dicha capacidad (o aproximada).
- Las características dimensionales, composición, etc., de dichos trenes.

El estudio permitió identificar una situación similar en el metro de Singapur con trenes de 6 coches, cuatro motorizados, de 139 m de largo y con un ancho de caja de 3,20 m fabricados por Alstom y Bombardier; una situación similar se encontró también en el metro de Medellín, si bien con trenes de 3 coches, fabricados por CAF. El hecho de que estos trenes de alta capacidad fueran construidos por empresas distintas (también Siemens tiene un desarrollo similar) permitió resolver las dudas iniciales hacia este tipo de productos.

Como consecuencia, se ha propuesto un tren de seis coches, tipo M-R-M-R-M en el que R significa coche remolque y M coche motor. Cada coche tiene cuatro puertas por lado con la misma distancia entre ejes de puertas a lo largo de todo el tren para facilitar el montaje de las puertas en los andenes. Cada coche motor tiene su correspondiente pantógrafo para alimentar directamente el sistema de tracción

correspondiente. Finalmente, el diseño general deberá seguir el esquema que se visualiza en la siguiente figura según la cual todo el diseño del tren será simétrico respecto del pasillo de intercomunicación situado entre los coches M intermedios.

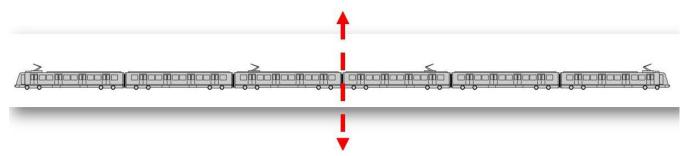


Figura 63.- Vista esquemática exterior del material rodante

Las dimensiones más características establecidas para el nuevo material rodante se resumen en la tabla siguiente.

oiguiorito.		
DEFINICIÓN	UNIDAD	VALOR
Longitud máxima de la cajas coches extremos entre partes planas de los enganches	m	23,6
Longitud máxima de la cajas coches intermedios entre partes planas de los enganches	m	22,8
Longitud máxima del tren entre partes planas de los enganches	m	141,0
Anchura máxima de la caja a nivel de piso	mm	3.200
Altura del piso del coche	mm	1.100
Altura aproximada del interior de la caja	mm	2.000
Altura total del coche (sin pantógrafo)	mm	3.700
Altura aproximada de la sujeción de las barras de los enganches de socorro	mm	770
Distancia máxima entre los pivotes de los bogies	m	15,8
Número de puertas de pasajeros en cada costado del coche	mm	4
Anchura útil de las puertas de pasajeros	mm	1.400
Altura útil de las puertas de pasajeros	mm	1.960
Distancia máxima entre ejes de puertas de pasajeros a lo largo de todo el tren	m	5,7
Distancia máxima del empate de los bogies	m	2,5
Diámetro de las ruedas: máximo - mínimo	mm	850 - 780
Diámetro de las ruedas seminuevas	mm	815

Tabla 43.- Dimensiones del material rodante

En estas condiciones, se consigue una capacidad de 2.000 viajeros con un ratio de confort del 10,37% es decir, 1.793 viajeros de pie y 207 viajeros sentados.

Estas elevadas dimensiones y capacidades exigieron un estudio de gálibos específico que se encuentra en el documento 202006-DE-PR24-DOC03, el cual establece el contorno de referencia cinemático, el gálibo límite de obstáculos, la distancia entre los ejes de vías contiguas (necesario para determinar el diámetro del túnel) y la distancia entre el eje de la vía y el borde del andén en las estaciones.

El segundo condicionante externo fue establecido por la potencia máxima de las subestaciones en la línea, lo que significó establecer un límite a la potencia máxima del material rodante, para lo cual se elaboró el correspondiente estudio (202006-DE-PR24-DOC05) para determinar las nuevas prestaciones que podría tener el material rodante en tracción, es decir, durante la fase de arranque y de aceleración.

El segundo documento sobre especificaciones técnicas es el codificado como 202006-DE-PR24-DOC06 y complementa el documento anterior, ya que en él se analizan los aspectos siguientes:

- Los requisitos que en materia de RAMS deberá satisfacer el material rodante.
- Criterios sobre el desarrollo de la gestión del proyecto y de la fabricación de los trenes.
- Los criterios a seguir por el suministrador sobre la gestión de la documentación que deberá generar durante la fase de proyecto, en la fabricación y la necesaria para el mantenimiento.
- Criterios para llevar a cabo la gestión de la calidad de la fabricación. Se incluyen en esta apartado los aspectos relativos a los ensayos a realizar sobre los conjuntos del tren y sobre el mismo tren.
- Los criterios a seguir para la definición de los recambios, útiles de trabajo y piezas de parque.
- Los aspectos relativos a la garantía y al servicio postventa.
- Los criterios a seguir para la formación y entrenamiento del personal. En este sentido, un posterior documento (202006-DE-PR24-DOC07) establece las especificaciones técnicas y funcionales que ha de tener la construcción de un simulador de conducción destinado a la formación permanente del personal de conducción en talleres, del personal del PCC destinado al seguimiento de los trenes y del personal de las estaciones destinado a tomar el mando de los trenes que por alguna circunstancia hayan quedado parados en línea sin posibilidades de ser activados en condiciones remotas desde el PCC.
- Las fichas DESIC relativas a las interfaces del material rodante con los diferentes sistemas.





3.27 Gestión de Interfaces

En un sistema complejo como lo es la PLMB, los distintos subsistemas que lo constituyen no son independientes entre sí, sino que algunos o muchos de ellos mantienen ciertas relaciones de dependencia que provocan que algunas de las decisiones tomadas puedan tener repercusión en los subsistemas relacionados.

En el apartado 4.27 se ha descrito cómo la elevada demanda de viajeros en la hora punta de la mañana obligó a diseñar un tren de alta capacidad, lo que ha tenido consecuencias en el gálibo límite de obstáculos y por tanto, en el diámetro del túnel, así como la distancia de separación de la vía con el borde de los andenes en las estaciones. En este caso, la interfaz material rodante – túnel o andenes ha sido resuelta favorablemente dentro de la fase de diseño responsabilidad del Consorcio L1, pero en otras ocasiones, esto no ha podido ser así. En este ejemplo, se sabe que el material rodante será automático y que el criterio de detección y mando de los trenes estará basado en la tecnología CBTC, pero la interfaz no se ha resuelto en la fase del proyecto responsabilidad del Consorcio L1 y no podrá resolverse hasta que los Suministradores del material rodante y del CBTC determinen el alcance de su suministro, pero sí se pueden establecer procedimientos para detectar la interfaz y determinar los aspectos que deberán ser tenidos en cuenta a lo largo de su diseño, suministro, instalación y ensayos.

Por todo ello, el estudio de Interfaces realizado en esta fase del proyecto ha tenido como objetivo desarrollar fundamentalmente un sistema de gestión capaz de detectar las deferentes interfaces, evaluar su tipología y establecer la metodología para su seguimiento posterior así como para el conocimiento de su estado en cada momento del desarrollo del proyecto hasta su puesta en servicio en la PLMB. Ello se realizará mediante la matriz de interfaces y las fichas DESIC (Detección, Especificación y Seguimiento de las Interfaces del Contrato).

La matriz de identificación de las interfaces consiste en una tabla en la que se relacionan los distintos sistemas y/o subsistemas implicados colocando los mismos en las filas y en las columnas de la tabla manteniendo en ambas el mismo orden y descripción. Para la PLMB, los sistemas y/o subsistemas implicados se han determinado a partir del contenido de los diferentes productos y de acuerdo con los criterios siguientes:

- Un producto de la PLMB puede constituir un único sistema o bien estar desglosado en instalaciones específicas que se asociarán a subsistemas.
- Cuando el producto esté constituido por un único sistema, caso del Material Rodante, por ejemplo, las interfaces internas dentro del mismo sólo se tratarán en la especificación propia del productosistema y por tanto, no tienen consideración de interfaz a efectos de este estudio.
- Cuando en el mismo producto se hayan determinado distintos subsistemas tanto las interfaces con subsistemas de otros productos diferentes como las interfaces con subsistemas del mismo producto (como la Interfonía con el CCTV, por ejemplo, en las Comunicaciones). La determinación de los subsistemas dentro del mismo producto dependerá únicamente de si existe documentación específica prevista para el mismo; en caso contrario, se considerará una interfaz interna y por tanto, no será objeto de su análisis en este documento.
- Cada producto se codifica de acuerdo con el código definido para cada producto de la PLMB. Por ejemplo: material rodante es el PR24 y por tanto, en la matriz aparecerá con el número 24.
- Los subsistemas dentro de un mismo producto se han numerado correlativamente a partir del 01.

En la tabla la casilla marcada determina una interfaz que deberá ser recogida en una ficha DESIC. Sólo se marcan las casillas correspondientes a la mitad de la matriz porque la otra mitad replicará la misma ficha. La figura siguiente muestra la matriz de interfaces en estudio para la PLMB.



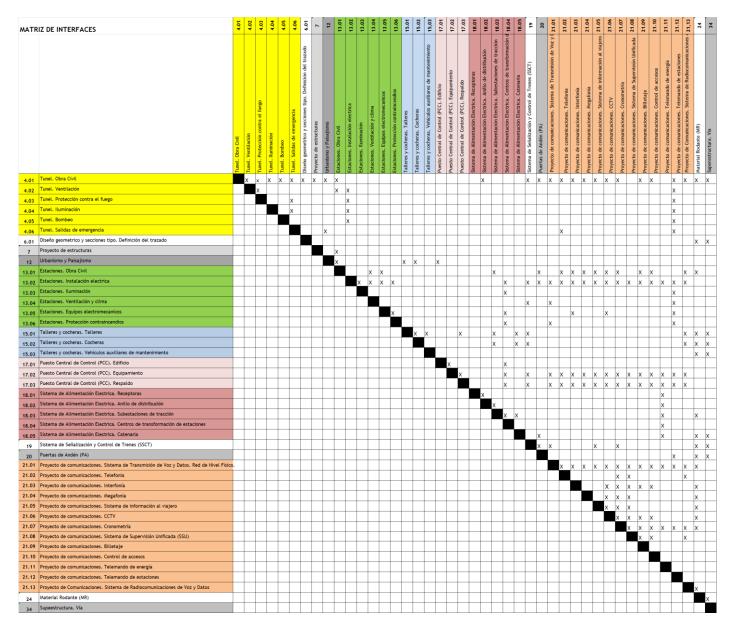


Figura 64.- Matriz de interfaces.

Por su parte, la ficha DESIC tiene dos caras. En el anverso de la misma que se muestra en la figura siguiente, se identifica la interfaz con los nombres de los sistemas y/o subsistemas que la generan y a continuación del código se indicará la versión de la ficha mediante la expresión "Rev.00" para la creación de la ficha, "Rev.01" para la primera revisión y así sucesivamente.

En el apartado de Requisitos generales se describirán los aspectos principales que cada sistema requiere o aporta a la interfaz. Se procurará de ser lo más concreto y conciso posible. Esta parte está dividida en

dos columnas, de modo que en la columna de la izquierda se describirán los requisitos que A necesita de B, mientras que en la columna de la derecha se describirán los requisitos que B necesita de A. Más abajo, se incluirá, si procede, un esquema, gráfico, etc., que ayude a visualizar claramente la interfaz

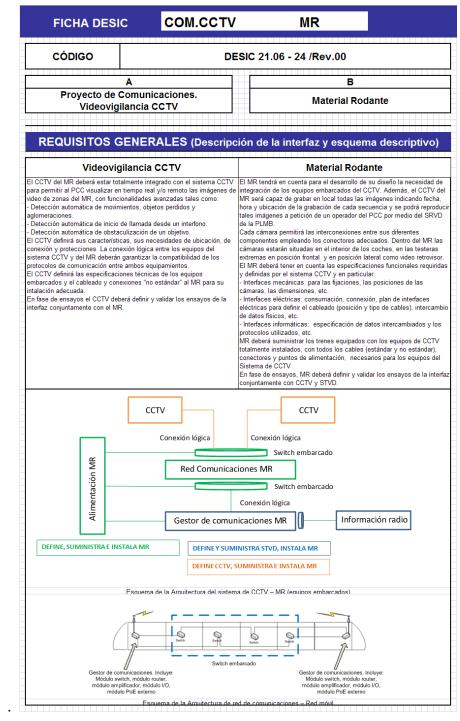


Figura 65.- Anverso de ficha DESIC





En el reverso de la ficha que se muestra en la figura siguiente, se especificarán todos los requisitos específicos necesarios para la resolución interfaz de cada sistema o subsistema (A y B) agrupándolos dentro de las siguientes fases del proyecto de cada sistema: diseño, suministro, instalación y ensayos. La descripción se hará de forma directa, es decir, indicando en qué aspectos el subsistema A (o B) es responsable de la adecuada gestión de la interfaz.

A cada fase del proyecto corresponderá un responsable de la interfaz, aunque en ciertas ocasiones pueda ser el mismo en algunas o todas las fases. Para cada fase se indicará, además, las fechas en que se han producido. Si durante el seguimiento de la interfaz los responsables de cada acción detectaran nuevas acciones a resolver, éstas se incluirán en la ficha para su seguimiento; la citada ficha vendrá identificada con un nuevo código de revisión.

En el apartado de Documentación afectada por la Interfaz se incluirán las referencias de los distintos documentos utilizados y/o redactados para la elaboración, desarrollo y validación de la interfaz y en los cuales se desarrollarán con el detalle necesario los aspectos que se recogen en los distintos apartados de la ficha descritos con anterioridad. Estos documentos, pueden ser especificaciones, planos o de cualquier otro tipo y deberán corresponderse con la última (más reciente) revisión aprobada de tales documentos. Siempre que sea posible, para cada documento se especificará el apartado correspondiente con el requisito a cumplir

Finalmente, al final de la ficha se hará constar de forma visible la validación de la interfaz y ello, siempre que se hayan ejecutado y comprobado la efectividad de todas las acciones previstas en cada una de las fases previas. Con la firma de este apartado, se procederá al cierre -resolución- de la ficha con indicación de los responsables intervinientes de cada sistema o subsistema.

SEGUIMIENTO REQU	ISITOS ESP	ECÍFICO	S	
A: Videovigilancia es responsable de:				
	D	Seguimiento		
Requisitos específicos para la resolución de la interfaz	cos para la resolución de la interfaz Responsable Planificado		Obtenido	Verificado
Diseño: - especificaciones de los equipos de CCTV (dimensiones, energía, conectividad, intercambio de datos físicos y lógicos etc.) - definición de los circuitos y las protecciones necesarias		xx/xx/20xx	xx/xx/20xx	xx/xx/20xx
Suministro: NA				
nstalación: NA				
Ensayos: - define y valida las especificaciones de los ensayos de la interfaz con MR y STVD. - realiza los ensayos de la interfaz con MR y STVD				
B: Material Rodante es responsable de:				
		Seguimiento		
Requisitos específicos para la resolución de la interfaz	Responsable	Planificado	Obtenido	Verificado
Diseño: - características técnicas del MR - validación del plan de inserción de los equipos		xx/xx/20xx	xx/xx/20xx	xx/xx/20xx
Suministro: - suministrar el MR con todos los cables y conectores de tipo "estándar" y "no estándar" necesarios para los equipos de CCTV				
- suministrar las piezas de adaptación mecánica. - reserva de espacio para la ubicación de los equipos de CCTV - suministrar los equipos de CCTV				
nstalación: - montaje de los equipos de CCTV - suministro de la alimentatción necesaria para los equipos y las protecciones eléctricas necesarias				
Pruebas y ensayos: - definición y validación de las especificaciones de ensayos de la interfaz MR y MEG - realización de los ensayos de interfaces de MR .MEG y STVD				
			_	
		LAINTE	DEAZ	
DOCUMENTACIÓN AFEC	TADA POR	LAINIE	\\ \A_	
	TADA POR		NI AL	
Referencia Fecha	TADA POR	Objeto		

DOCUMENTACIÓN AFECTADA POR LA INTERFAZ			
Referencia	Fecha	Objeto	
202006-DE-PR24-DOC-04-02	Noviembre 2014	Especificación técnica del material rodante destinado a la PLMB. 1ª Parte	
202006-DE-PR21-DOC-09-01	Noviembre 2014	Sistema de videovigilancia	
202006-DE-PR21-DOC-16-00	Agosto 2014	Sistema de Transmisión de Voz/Datos y Red de Nivel Físico	
202006-DE-PR24-DOC-06-02	Noviembre 2014	Especificación técnica del material rodante destinado a la PLMB. 2º Parte	

RESOLUCIÓN: Validación de la ficha de Interfaz

Responsable interfaces A Responsable interfaces B Nombre: Fecha: irma:

Figura 66.- Reverso de ficha DESIC



3.28 Instalaciones de obra

3.28.1 Planta de fabricación de dovelas

Dada la longitud de túnel prevista y la división en tramos de la zona de trazado que se va a hacer con tuneladora, se propone la fabricación de las dovelas en 3 plantas, 1 para cada tramo, estando cada una de ellas compuesta por una planta cubierta de 30 x 100 m con moldes colocados en una instalación en tipo carrusel. La planta de fabricación no tendrá que estar necesariamente en el punto de suministro. Se ubicará en los alrededores de la ciudad de Bogotá en una parcela con acceso garantizado al punto de suministro.

3.28.2 Instalaciones para los equipos auxiliares de las tuneladoras

Dentro de los equipos auxiliares se incluyen diversas instalaciones, elementos y equipos (cinta transportadora, plantas de mortero y de cal, equipos móviles para suministro de tuneladora, ventilación, puentes-grúas...) necesarios para el funcionamiento de la tuneladora EPB.

Se han previsto tres plantas de instalaciones de obra, en el Portal de las Américas, en la Estación Avda. 68 y en el Parque del Tercer Milenio.



Figura 67.- Instalaciones de obra. Portal de las Américas

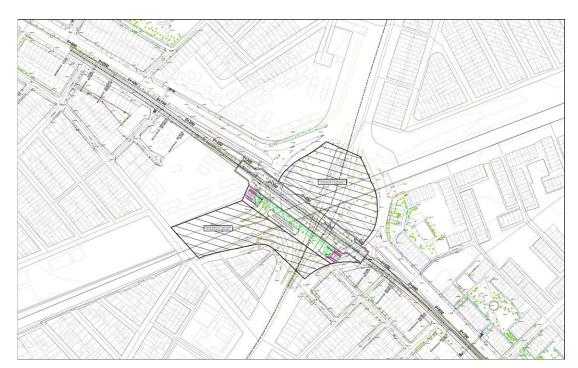


Figura 68.- Instalaciones de obra- Estación Avda. 68



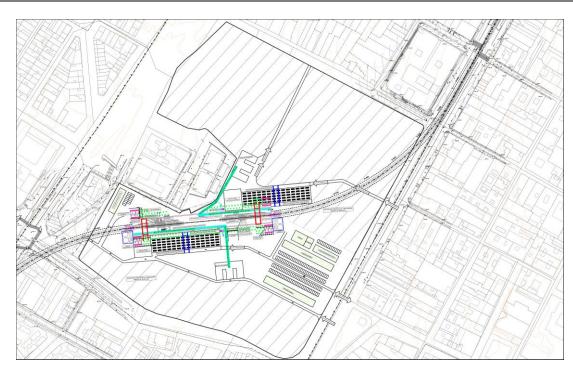


Figura 69.- Instalaciones de obra- Parque del Tercer Milenio

3.29 Presupuesto

En el documento Presupuesto se recoge toda la información necesaria para obtener el importe previsto de inversión del proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Hay que mencionar que en el documento se han agrupado, bajo un único presupuesto, los productos de Costos con números:

- 10. Obra Civil (Línea, pasos a desnivel, PCC, urbanismo y paisajismo, desvío de redes y desvíos de tráfico)
- 14. Obra Civil Estaciones (obra civil, arquitectura e instalaciones)
- 16. Obra Civil Talleres y Cocheras (obra civil, arquitectura e instalaciones)
- 22. Instalaciones y equipos y superestructura de vía.
- 25. Material rodante.

Con ello se consigue una integración total de todos los productos de costos que serán objeto de licitación, y una mayor comprensión del proyecto en su conjunto.

El documento incluye la estimación de cantidades de todos los ítems o partidas de obra, la estimación de los precios de dichos ítems, calculados a partir de los costos de los insumos que componen dichas partidas, y el cálculo del presupuesto total, obtenido como el producto de las cantidades por los precios (Costo directo).

Al resultado obtenido, se le aplican los costos indirectos (Administración, Imprevistos y Utilidad), así como el correspondiente IVA (Impuesto del Valor Agregado), con base en la utilidad estimada.

Finalmente, se estiman otra serie de costos previstos en los que tendrá que incurrir la Administración, tales como los de obtención de predios, los de asesorías e interventorías en las distintas fases de gestión del proceso de licitación, de las obras y de la puesta en operación, gastos de auscultación y control de las obras, gastos del manejo ambiental y social, etc.

La estimación del presupuesto se presenta en Pesos Colombianos equivalentes, como resultado de agregar los importes obtenidos en pesos, y los importes obtenidos en las divisas Euros (€) y Dólares de los Estados Unidos (USD), a los que se les ha aplicado la correspondiente tasa de cambio.

El presupuesto también se presenta desglosado en dichas divisas, sin que se haya procedido a convertir en una divisa única. Ello permite analizar la componente que cada divisa afecta al total de la obra.

Las tasas de cambio aplicadas a las divisas para su transformación en Pesos Colombianos equivalentes han sido las tasas oficiales del día 24 de septiembre de 2014, fecha prevista de finalización del Contrato de redacción del presente Proyecto Básico Avanzado de la PLMB, y que son las siguientes:

Equivalencia en divisas a 24-09-2014:

Dólar (USD \$) -Pesos Colombianos (24-sept-2014). 1 USD \$ =	1.997,9100 COP \$
Euro (€) –Pesos Colombianos (\$) (24-sept-2014). 1 EUR € =	2.557,1250 COP \$
Euro (€) -Dólar (\$) (24-sept-2014). 1 EUR € =	1,2799 USD \$

Se incluye además la justificación de los Costos Indirectos: Administración, Imprevistos y Utilidad (A.I.U).

Los Costos de Administración se han subdividido a su vez en Costos de Impuestos, Garantías, Gastos Financieros (manejo de anticipo), Gastos de Personal y Gastos Operacionales.





Se ha adoptado el 0.0% para el concepto de Imprevistos, el 3,0% para el concepto de Utilidad y el 16,0% de IVA sobre el importe de la utilidad.

Para la obtención del Presupuesto Total Estimado para Conocimiento del Distrito, a la cifra acumulada calculada anteriormente (Presupuesto Total de Licitación, IVA incluido), se añaden los anteriormente mencionados Gastos Adicionales del Distrito, que son:

- Medio Ambiente: Gastos de la gestión social y plan de manejo ambiental por parte del Distrito. Se han estimado en un 0,5% del Presupuesto Total de Licitación (IVA incluido)
- Predios y Legalización: Se incluyen los gastos evaluados en el Producto Nº 11: Costos de Predios y Legalización, que incluyen los costos de adquisición de predios necesarios para la ejecución de las obras, así como los costos de valorización, estudios de compra, gastos legales, etc.
- Asistencia Técnica en fases Licitación, de Diseño, y de Obra: Se han estimado en el 1,0% del Presupuesto Total de Licitación (IVA incluido)
- Interventoría en Fase de Obra: Se ha previsto un 2,5% del Presupuesto Total de Licitaciones (IVA incluido)
- Auscultación: Responde a los gastos en que ha de incurrir la Administración en las labores de auscultación y seguimiento de la evolución de las obras construidas durante un período de 7 años. El importe previsto, así como los planos y las especificaciones técnicas exigibles para estas labores se han recogido dentro del Producto Nº 3. Hay que insistir una vez más aquí, que estas labores no forman parte de los trabajos a contratar al adjudicatario de las obras, sino que son gastos para la Administración.
- Asistencia Técnica a la Operación: Se ha estimado un importe de 50.000 millones de pesos para cubrir la previsión de gastos necesarios de asistencia técnica a la operación durante un año, adicional a lo ya previsto en los costos directos de cada sistema.

En el apartado de cantidades de obra se recogen ordenados por capítulos y subcapítulos de las distintas partes de las obras, el resumen de las cantidades previstas para todos los ítems contemplados. Los listados presentan la denominación de los ítems, con su correspondiente código de identificación y las cantidades asociadas, junto con la unidad de medida empleada. Se presentan unas Memorias de Cálculo de Cantidades de Obra con la justificación del cálculo de las cantidades obtenidas, haciendo referencia a la forma de medición y obtención de las mismas y a la ubicación o punto de las obras en que se está midiendo el correspondiente ítem.

La descomposición del precio de un ítem se hace con base al coste de los diferentes insumos: materiales, maquinaria, jornales o mano de obra, herramientas, equipos, medios auxiliares y transportes.

Los precios de estos ítems e insumos, se han estimado con base a la situación del mercado a la hora de redactar el proyecto, teniendo también en consideración bases de datos de costos de entidades públicas y empresas de servicios públicos así como basándose en la experiencia del consultor, tanto en proyectos nacionales como internacionales.

Para los productos cuyos componentes son todos de fuente colombiana, todos los precios y sus componentes se presentan en pesos colombianos.

Por el contrario, cuando en los ítems figuran partes cuyo origen es de importación, cada parte se recoge en la divisa correspondiente (se han considerado Euros (€) y Dólares de Estados Unidos (USD)). Además, para la justificación del precio se han contemplado todos los costes asociados al proceso de importación, tales como el costo de adquisición en origen, transporte y flete (incluyendo seguros de transporte), agenciamiento aduanero, nacionalización (arancel e IVA) y transporte en Colombia hasta las obras.

Por último se ha de mencionar que se ha elaborado un Análisis de Precios Unitarios (APU) de aquellos ítems con mayor incidencia en el presupuesto, lo que permite realizar un análisis en profundidad del mismo, pudiéndose observar cómo varía el importe total, si se actúa sobre algunos de los elementos constitutivos de los precios (impuestos, aranceles, precios de insumos más importantes, etc.)

Con el objeto de poder tener las cantidades y los presupuestos lo suficientemente desagregados para facilitar un análisis detallado de las distintas partes que componen la obra, se ha dividido en varios tramos: Ramal Técnico, Tramo A, Tramo B, Tramo C, Tramo D, Tramo E, Talleres y Cocheras. A su vez estos tramos se han subdivididos, a efectos del cálculo de mediciones, en subtramos que corresponden a los tramos de línea interestaciones y a las propias estaciones. Los pozos o salidas de emergencia se han contemplado dentro de los tramos de línea interestaciones en los que se encuentran.

El presupuesto se ha organizado mediante capítulos y subcapítulos, creando de esta manera una estructura en forma de árbol. Los capítulos responden, de forma general, a los respectivos productos en que se divide el proyecto.

El presupuesto se ha elaborado mediante el programa software especializado: PRESTO 2015.01, (www.presto.es) que permite manejar el elevado volumen de información requerido, así como la utilización simultánea de diferentes divisas.





En la siguiente tabla se presenta el resumen de los costos totales de la PLMB

RESUMEN DE COSTOS ANALISIS PRELIMINAR - PLMB BOGOTA					
PRESUPUESTO PARA LICITACION] [V	ALOR PRECIOS EN COP		
ESTUDIOS Y DISEÑOS		\$	211.497.304.349		
LINEA		\$	2.779.392.556.186		
OBRAS DE ESTRUCTURAS AFECTADAS		\$	3.317.359.696		
PUESTO CENTRAL DE CONTROL		\$	85.915.169.224		
URBANISMOS Y PAISAJISMO		\$	407.715.713.248		
DESVIO DE REDES Y RECUPERACION		\$	252.389.102.318		
DESVIO DE TRAFICO		\$	124.826.012.317		
ESTACIONES		\$	4.290.943.185.596		
TALLERES Y COCHERAS		\$	465.103.193.946		
ALIMENTACION ELECTRICA		\$	272.190.701.346		
SEÑALIZACION Y CONTROL DE TRENES		\$	211.847.823.693		
PUERTAS ANDEN		\$	121.513.889.970		
COMUNICACIONES		\$	253.166.458.756		
SUPER ESTRUCTURA DE LA VIA		\$	173.742.298.225		
MATERIAL RODANTE		\$	1.132.801.752.925		
VALORES TOTALES ANTES DE AIU			10.786.362.521.795		
		\$	101700130213211733		
A	22,50% 0%	\$	2.426.931.567.404		
U	3%	\$	323.590.875.654		
TOTAL A.I.U.	376	Š	2.750.522.443.058		
TOTAL A.I.O.		<u>, </u>	2.730.322.443.038		
SUBTOTAL CON A.I.U.		\$	13.536.884.964.852		
IVA SOBRE LA UTILIDAD	16%	\$	51.774.540.105		
PRESUPUESTO TOTAL LICITACION (I	VA incluido)	\$	13.588.659.504.957		
GASTOS ADICIONALES DEL DISTRITO			ALOR PRECIOS EN COP		
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	0,50%	\$	67.943.297.525		
PREDIOS Y LEGALIZACION		\$	840.466.932.959		
ASISTENCIA TECNICA EN FASE DE LICITACION DISEÑO Y OBRA	1,00%	\$	135.886.595.050		
INTERVENTORIA FASE DE OBRA	2,50%	\$	339.716.487.624		
AUSCULTACION		\$	63.146.876.968		
ASISTENCIA TECNICA A OPERACIÓN		\$	50.000.000.000		
GASTOS ADICIONALES D	EL DISTRITO	\$	1.497.160.190.125		
PRESUPUESTO TOTAL PARA CONOCIMIENTO DEL DISTRITO					
PRESUPUESTO TOTAL LICITACION (IVA incluido)			13.588.659.504.957		
GASTOS ADICIONALES DEL DISTRITO			1.497.160.190.125		
PRESUPUESTO TOTAL PARA CONOCIMIENTO DEL DISTRITO			15.085.819.695.082		

Tabla 44.- Resumen de costos de inversión de la PLMB

