



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

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

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



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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Integración de las modificaciones solicitadas por la EMB y por la Interventoría	-
C	17-05-2022	Integración de las modificaciones y de los complementos solicitados por el Ministerio de Transporte	-
D	13-06-2022	Horarios	Atención Observaciones de Ministerio de Transporte

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 13-06-2022
Gerente de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó: O. Véliz 13-06-2022	Revisó: F. Faria 13-06-2022	Revisó: C.L. Umaña 13-06-2022	Aprobó: J.M. Martínez 13-06-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...	9
2. MODELO OPERACIONAL	9
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES	9
1.2. ALCANCE DEL PLAN DE OPERACIÓN PRELIMINAR	9
2. POLÍTICA DE OPERACIÓN	10
3. LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	10
3.1. PRESENTACIÓN DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ	10
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRAZADO	11
3.2.1. Sentido de circulación	11
3.2.2. Ubicación de las estaciones	11
3.2.3. Planimetría	13
3.2.4. Altimetría	15
3.3. INFRAESTRUCTURA	16
3.3.1. La vía	16
3.3.2. Velocidad comercial y límites de velocidad	17
3.3.3. Terminales	18
3.3.3.1. Fontanar	18
3.3.3.2. Calle 72	19
3.3.4. Ubicación geográfica de las cocheras, máquina de lavado y taller	19
3.3.5. Vías de enlace	20
3.3.6. Cocheras y máquina de lavado	20
3.3.7. Taller	20
3.3.8. Posiciones de transferencia	21
3.3.9. Esquema de la vía de enlace, talleres y cocheras	21
3.4. CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO	¡Error! Marcador no definido.
3.4.1. Descripción del tren	22
3.4.2. Características de las estaciones	23
3.4.2.1. Normativas	24
3.4.2.2. Criterios de diseño	24
3.4.2.2.1. Principios generales	24
3.4.2.2.2. Análisis de las dimensiones de las áreas de pasajeros y condiciones de evacuación	25
3.4.2.2.2.1. Estación tipo	25
3.4.2.2.2.2. Calle 72	28
3.4.3. Puesta en servicio	31
3.4.4. Horarios	31

3.4.5. Tipo de servicio comercial	34
3.4.5.1. Modo nominal	34
3.4.5.2. En modo degradado	34
3.4.6. Kilometraje anual	34
3.4.7. Tiempo de retorno en terminal	35
3.4.8. Modos de conducción	35
4. CÁLCULOS DE DESEMPEÑO DE LA L2MB	36
4.1. DEFINICIONES Y MÉTODO	36
4.1.1. Capacidad de la línea	36
4.1.2. Tiempo de estacionamiento en las estaciones	36
4.1.3. Tiempo de retorno en la estación terminal	36
4.1.4. Intervalo mínimo práctico en línea	36
4.1.5. Intervalo mínimo de retorno en la estación terminal	36
4.1.6. Intervalo mínimo operacional	36
4.1.7. Método para el cálculo	36
4.2. CALCULO DE DESEMPEÑO DE LA LÍNEA	37
4.2.1. Escenario 2042	38
4.2.1.1. Flujo de pasajeros	38
4.2.1.2. Cálculo del intervalo mínimo para satisfacer la demanda	39
4.2.1.3. Nivel de confort	39
4.2.1.4. Cálculo de los tiempos de estacionamiento	40
4.2.1.5. Cálculo del intervalo mínimo práctico en línea	41
4.2.1.6. Cálculo del intervalo mínimo de retorno en las estaciones terminales	42
4.2.1.6.1. Estación Fontanar	44
4.2.1.6.2. Estación Calle 72	46
4.2.1.7. Intervalo mínimo operacional	48
4.2.1.8. Velocidad comercial y tiempo de vuelta redonda	49
4.2.1.8.1. Vía 1: desde Calle 72 hasta Fontanar	49
4.2.1.8.2. Vía 2: desde Fontanar hacia Calle 72	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.9. Cálculo del número de trenes requeridos	53
4.2.2. Análisis de sensibilidad	53
4.2.2.1. Capacidad máxima de la línea	53
4.2.2.2. Tamaño de la flota y kilometraje anual	54
5. MODOS DE OPERACIÓN	55
5.1. MODO NOMINAL	55
5.2. MODO DEGRADADO	55
6. APÉNDICES	56
6.1. UBICACIÓN DE LOS APARATOS DE VÍA	57
6.2. POSICIÓN DE LOS APARATOS DE VÍAS EN ESTACIONES DE RETORNO	57

6.3. DISPOSICIÓN DE LAS PUERTAS	58
6.4. FLUJO DE PASAJEROS	¡Error! Marcador no definido.
6.4.1. Horizonte 2032	¡Error! Marcador no definido.
6.4.1.1. Sentido hacia Fontanar	59
6.4.1.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72	59
6.4.4. Horizonte 2042	60
6.4.4.1. Sentido hacia Fontanar	60
6.4.4.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72	60
6.4.5. Horizonte 2052	61
6.4.5.1. Sentido hacia Fontanar	61
6.4.5.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72	61
6.5. Inserción y retirada de los trenes	62
5. LISTA PRELIMINAR DE LAS TAREAS DE UNA LÍNEA UTO	63
6.6. PERFILES DE VELOCIDAD DE LA L2MB	68
6.6.1. Sentido hacia Fontanar	68
6.6.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72	73
7. COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE TRANSPORTE	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de la Línea 2 del Metro de Bogotá
Tabla 2. Planimetría de la L2MB
Tabla 3. Altimetría de la L2MB
Tabla 4. Velocidades máximas permitidas en función del PK (menores a 80/km/h)
Tabla 5. Hipótesis sobre el material rodante
Tabla 6. Evolución del intervalo de línea a lo largo del día en 2032
Tabla 7. Kilometraje anual de la L2MB
Tabla 8. PPHPD de la L2MB en la hora pico para el año 2042
Tabla 9. Desempeño requerido de la L2MB en horas pico en 2042
Tabla 10. Nivel de confort con intervalo de 130s, hora de pico de la mañana, para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 en 2042
Tabla 11. Tiempos de estacionamiento durante la hora pico de la mañana en 2042 (intervalo 130s)
Tabla 12. Intervalo mínimo práctico en línea en 2042
Tabla 13. Puntos de operación en las terminales

Tabla 14. Tiempo de recorrido en una terminal

Tabla 15. Resumen de los tiempos de retorno en las estaciones Fontanar y Calle 72 en 2042

Tabla 16. Resumen intervalos mínimos

Tabla 17. Tiempo de recorrido en el Sentido hacia Fontanar para el año 2032

Tabla 18. Tiempo de recorrido en el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 para el año 2032

Tabla 19. Resumen del tiempo de recorrido para cada sentido para el año 2042

Tabla 20. Desempeño de la L2MB para el año 2042

Tabla 21. TVR de la L2MB para el año 2042

Tabla 22. Dimensionamiento de la flota para el año 2042

Tabla 23. Capacidad máxima de la línea para tres intervalos distintas

Tabla 24. Kilometraje anual y tamaño de flota de material rodante para varias hipótesis de intervalos

Tabla 25. Ubicación del incidente y sus consecuencias sobre la operación

Tabla 26. Intervalos para satisfacer la demanda de cada uno de los escenarios

Tabla 27. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2032)

Tabla 28. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 (2032)

Tabla 29. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2042)

Tabla 30. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 (2042)

Tabla 31. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2052)

Tabla 32. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2052)

Tabla 33. Número de trenes presente en la línea

Tabla 34. Lista preliminar de las tareas de una línea UTO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la L2MB

Figura 2. Plano de vías de la L2MB

Figura 3. Estación terminal Fontanar

Figura 4. Estación terminal Calle 72

Figura 5. Instalaciones del patio-taller de la L2MB

Figura 6. Flujo de trabajo

Figura 7. Curva de esfuerzo velocidad del material rodante de la L2MB

Figura 8. Evolución del intervalo de la línea a lo largo de un día de semana en 2032

Figura 9. Método de dimensionamiento de la L2MB

Figura 10. Número de usuarios de la L2MB durante la hora pico de la mañana en el Sentido hacia Fontanar para el año 2042

Figura 11. Número de usuarios de la L2MB durante la hora pico de la mañana en el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 para el año 2042

Figura 12. Retorno en la estación Fontanar

Figura 13. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Fontanar

Figura 14. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Fontanar (visualización)

Figura 15. Retorno en la estación Calle 72

Figura 16. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Calle 72

Figura 17. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Calle 72 (visualización)

Figura 18. Configuraciones de retorno detrás de las estaciones

Figura 19 - Gráfico de velocidades, Sentido hacia Est.1 - Calle 72

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmulas del intervalo mínimo para satisfacer la demanda y del número de trenes asociado

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del tiempo de estacionamiento

Ecuación 3. Cálculo de los márgenes de las terminales estudiadas

Ecuación 4. Tiempo de vuelta en terminales

Ecuación 5. Fórmulas del intervalo mínimo para satisfacer la demanda y del número de trenes asociado

Ecuación 6. Estimación del tiempo de vuelta redonda

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Ecuación 7. Estimación de los trenes en operación

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...

2. MODELO OPERACIONAL

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

CBTC	Communication Based Train Control
CCO	Centro de Control Operacional
CCS	Centro de Control de Seguridad
MAS	Máquina Auto Servicio
MRA	Máquina Recarga Automática
PDA	Puerta de andén
PLMB	Primera Línea de Metro de Bogotá
PMT	Puesto de Maniobras de Taller
PPHPD	Pasajeros Por Hora Por Dirección
SOP	Procedimientos Operativos Normalizados (Standard Operating Procedures)
SP	Servicio Parcial
UTO	Operación de Tren Desatendido (Unattended Train Operation)

1.2. ALCANCE DEL PLAN DE OPERACIÓN PRELIMINAR

El plan de operación preliminar (POP) define la oferta de transporte y los principios funcionales de un sistema de transporte, así como los métodos que deben aplicarse para asegurar el funcionamiento óptimo de este sistema.

Tiene como objetivo dimensionar el sistema ferroviaria de la Línea 2 de Metro de Bogotá, teniendo en cuenta las hipótesis sobre la demanda de pasajeros y la oferta técnica. Asimismo, se permitirá estimar los gastos de capital (CAPEX) y los costos de operaciones (OPEX). La descripción y el análisis se focaliza sobre el modo nominal.

En este POP, se destacan los puntos siguientes:

- La política de operación;
- Las características del servicio: oferta de transporte necesaria para hacer frente a la demanda;

- La estructura y equipamientos de la L2MB: descripción del plano de vía, ubicación y tipología de las terminales y cocheras, principios de funcionamiento del sistema, características del material rodante;
- La operación de la línea en modo nominal.

La información sobre la funcionalidad de estaciones como la capacidad o niveles de servicio está incluida en el documento de estación, por lo que no son abordados en el presente documento.

2. POLÍTICA DE OPERACIÓN

Una línea de metro es un sistema complejo en el que los diferentes elementos que la componen (infraestructura, equipos, material rodante) deben ser coherentes entre ellos. Para lograr esta meta, es necesario aplicar una metodología de concepción de los equipamientos basada en una política general de operación.

Ésta debe cumplir con los siguientes objetivos generales:

- Adecuar eficientemente la demanda de transporte en los trenes y en las estaciones;
- Garantizar en todo momento la seguridad de los pasajeros, del personal y de los equipamientos e infraestructuras;
- Proporcionar una alta calidad de servicio para satisfacer a los pasajeros y poder competir con los vehículos privados: aseo, rapidez, comodidad, regularidad, disponibilidad y continuidad del transporte público;
- Integrar la nueva línea en la red de transporte existente;
- Minimizar los costos para la colectividad.

Por lo tanto, concebir un metro consiste en definir el sistema global que cumpla de la manera más satisfactoria con los objetivos establecidos, respetando las restricciones externas (geológicas, topográficas, climáticas, financieras, temporales, sociales, culturales u otras). La definición precisa de las necesidades es necesaria para una buena concepción del sistema.

Para el nivel de servicio, se propone 6 pasajeros/m² en la hora punta de un día típico, y un valor inferior en las otras horas de un día típico y no típico. 6 pasajeros por metro cuadrado se establece en la densidad máxima admisible.

3. LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

3.1. PRESENTACIÓN DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

En un contexto de expansión y crecimiento demográfico, junto con el objetivo de mejorar la calidad del servicio de transporte de la capital colombiana, la ciudad de Bogotá observa la necesidad de incorporar a su actual red de transporte una línea de metro completamente automática, con rodado de acero y alimentación eléctrica por medio de catenaria rígida (1500 V). Se trata de la Línea 2 del Metro de Bogotá.

Para mayor información sobre los elementos claves, consultar los documentos trazados, estaciones y demandas los cuales han sido omitidos en el presente documento para centralizar el foco en el Plan Operacional.

El trazado de la L2MB será mayoritariamente en subterráneo:

- 15,5 km de longitud (14,4 km en subterráneo y 1,1 km en elevado);
- 11 estaciones (10 en subterráneo y 1 en elevado)

Se presenta a continuación el esquema de la Línea 2 de Metro de Bogotá.



Figura 1. Esquema de la L2MB

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRAZADO

A continuación, se exponen los datos de entrada considerados en las simulaciones de operación. Estos fueron determinados basándose en el trazado de referencia.

3.2.1. Sentido de circulación

Se definen los sentidos de circulación 1 y 2 como fue definido en el estudio de prefactibilidad de la L2MB. Los trenes circulan por la vía derecha. El sentido de circulación 1 es el que va de Calle 72 a Fontanar. El sentido de circulación 2 es el que va de Fontanar a Calle 72. La denominación de las vías sigue la misma lógica.

3.2.2. Ubicación de las estaciones

A continuación, se indican los puntos kilométricos del centro de andén de cada estación.

Tabla 1. Estaciones de la Línea 2 del Metro de Bogotá

Estación	Longitud de inter-estación (m)	Andén de 150 metros			Punto de parada	
		PK medio del andén	PK del principio del andén	PK del fin del andén	Vía 1	Vía 2
Est.1 - Calle 72		643	568	718	718	568
	1 545					
Est.2 - NQS		2188	2 113	2 263	2 263	2 113
	1 756					
Est.3 - CR68		3944	3 869	4 019	4 019	3 869
	1 449					
Est.4 - Av. Boyacá		5393	5 318	5 468	5 468	5 318
	930					
Est.5 - Cali		6323	6 248	6 398	6 398	6 248
	1 213					
Est.6 - CI 80		7536	7 461	7 611	7 611	7 461
	1 246					
Est.7 - Cr 91		8782	8 707	8 857	8 857	8 707
	1 480					
Est.8 - Humedal		10262	10 187	10 337	10 337	10 187
	1 645					
Est.9 - ALO Sur		11907	11 832	11 982	11 982	11 832
	1 382					
Est.10 - ALO Norte		13289	13 214	13 364	13 364	13 214
	1 718					
Est.11 - Fontanar		15007	14 932	15 082	15 082	14 932

Se define una longitud de andenes de 150 metros. Esta longitud tiene en cuenta el crecimiento de la demanda para el año 2052.

El punto de parada corresponde a la posición de la cabeza del tren cuando el mismo se encuentra detenido en la estación. Esta se ubica sobre el final del andén. El mismo puede diferir con otros documentos donde se referencia la distancia al centro de plataforma o a su extremo inicial.

3.2.3. Planimetría

A continuación, se presentan los datos de planimetría de la L2MB. Se encuentran los puntos iniciales de sección curva y recta, sus longitudes y los radios de las curvas.

Se precisa que se consideró un radio de giro mínimo de 400 metros como límite para garantizar una velocidad comercial alta.

Tabla 2. Planimetría de la L2MB

Número de curva	Tipo	PK inicial	Longitud (m)	Radio (m)
	Recta	0	797	-
1	Curva	797	52	7000
	Recta	849	287	-
2	Curva	1136	35	2000
	Recta	1171	436	-
3	Curva	1607	72	410
	Recta	1679	230	-
4	Curva	1909	29	410
	Recta	1939	387	-
5	Curva	2325	80	410
	Recta	2405	402	-
6	Curva	2807	206	1000
	Recta	3013	700	-
7	Curva	3713	45	500
	Recta	3759	377	-
8	Curva	4136	54	600
	Recta	4190	541	-
9	Curva	4731	43	1200
	Recta	4775	191	-

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Número de curva	Tipo	PK inicial	Longitud (m)	Radio (m)
10	Curva	4966	25	450
	Recta	4990	142	-
11	Curva	5132	116	600
	Recta	5248	537	-
12	Curva	5785	63	800
	Recta	5848	602	-
13	Curva	6450	635	400
	Recta	7085	601	-
14	Curva	7686	71	400
	Recta	7757	220	-
15	Curva	7977	108	400
	Recta	8085	358	-
16	Curva	8443	67	600
	Recta	8510	452	-
17	Curva	8962	598	400
	Recta	9559	487	-
18	Curva	10046	107	400
	Recta	10153	302	-
19	Curva	10455	128	500
	Recta	10584	971	-
20	Curva	11555	208	500
	Recta	11763	1209	-
21	Curva	12971	170	800
	Recta	13141	550	-
22	Curva	13691	479	420
	Recta	14170	318	-
23	Curva	14488	285	900

Número de curva	Tipo	PK inicial	Longitud (m)	Radio (m)
	Recta	14773	724	-

3.2.4. Altimetría

A continuación, se presentan los datos de altimetría de la L2MB. Se encuentran los puntos iniciales y finales de las rampas, la longitud de cada sección y su pendiente. Un valor positivo de la pendiente significa que el punto final de la sección se ubica más alto que el punto inicial de la misma.

Se precisa que se consideró un valor 3% como valor máxima de pendiente tanto para garantizar una velocidad comercial alta como para compatibilizarse con las características del material rodante de la L2MB.

Tabla 3. Altimetría de la L2MB

Sección	PK inicial	PK fin	Longitud (m)	Pendiente (‰)
1	0	1 000	1 000	0,0
2	1 000	1 520	520	-30,0
3	1 520	1 720	200	24,3
4	1 720	2 300	580	0,0
5	2 300	2 760	460	-15,0
6	2 760	3 820	1 060	13,9
7	3 820	4 080	260	0,0
8	4 080	4 480	400	-30,0
9	4 480	5 100	620	12,4
10	5 100	5 700	600	0,0
11	5 700	5 900	200	-15,0
12	5 900	6 180	280	17,7
13	6 180	6 440	260	0,0
14	6 440	6 860	420	-15,0
15	6 860	7 400	540	15,8
16	7 400	7 940	540	0,0
17	7 940	8 360	420	-15,0
18	8 360	8 560	200	15,1

Sección	PK inicial	PK fin	Longitud (m)	Pendiente (‰)
19	8 560	8 920	360	0,0
20	8 920	9 620	700	-15,0
21	9 620	9 980	360	15,2
22	9 980	10 400	420	0,0
23	10 400	10 780	380	-15,0
24	10 780	11 780	1 000	19,8
25	11 780	12 120	340	0,0
26	12 120	12 660	540	-20,0
27	12 660	12 920	260	18,1
28	12 920	13 440	520	0,0
29	13 440	14 220	780	11,4
30	14 220	14 840	620	30,0
31	14 840	15 498	658	0,0

3.3. INFRAESTRUCTURA

3.3.1. La vía

Un plano de vía adecuado es esencial para poder proporcionar un buen nivel de servicio en la línea y un programa de operación fiable.

El plano de vía debe permitir:

- La operación de la línea en situación normal, con el intervalo mínimo entre dos trenes consecutivos;
- El retorno de los trenes al final de la línea;
- La inserción y retirada de trenes, al comienzo y fin del día, y para ajustar la oferta de transporte a la demanda a lo largo del día;
- La operación en situación de incidente (situación degradada);
- La configuración de la vía y los andenes permite realizar un servicio rápido, frecuente, seguro, operando en modo normal y modo degradado.

El esquema de vías deberá admitir movimientos en ambos sentidos a lo largo de toda la línea. Esta flexibilidad permite retroceder los trenes en caso de necesidad.

Además, se instalarán aparatos de vía que permitan realizar servicios provisorios en las estaciones principales. Estas se definen según los siguientes criterios:

- Estaciones terminales;
- Estaciones que cuentan con un flujo importante de pasajeros (aproximadamente más de 8000 por hora);
- Una ubicación lógica en la línea (cada 2 o 3 estaciones).

Estos se ubican entonces en las estaciones de Fontanar, ALO Sur, CI 91, Cali, NQS y Calle 72. Los aparatos de vía son bidireccionales, posibilitando así una operación más simple en situaciones degradadas. Esta configuración minimiza el número de pasajeros impactados en situación de incidente, bajo ciertas hipótesis (Apéndice 7.1).

A continuación, se representa el esquema de vías propuesto:

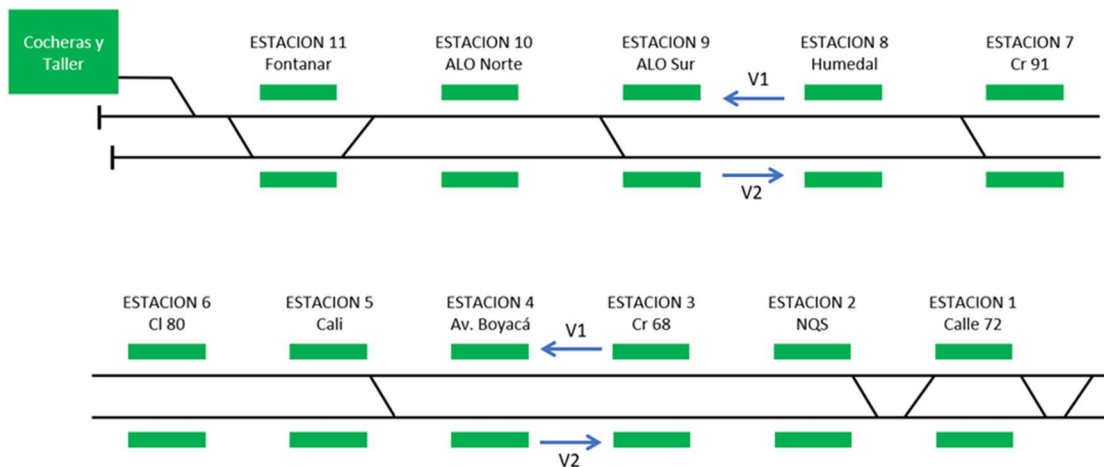


Figura 2. Plano de vías de la L2MB

3.3.2. Velocidad comercial y límites de velocidad

Las curvas que presentan un radio menor a 450 metros provocan una limitación de la velocidad respecto a la velocidad máxima de servicio de 80 km/h. La restricción de velocidad asociada a una curva se aplica desde el punto kilómetro (PK) de comienzo de la curva (curva y enlace de curva) hasta el punto kilómetro de fin de la curva (curva y enlace de curva) más la longitud del tren.

A continuación, se identifican los puntos kilométricos de la línea donde se observan curvas horizontales y sus limitaciones de velocidad asociada. Entre los tramos mencionados en la siguiente tabla, no se define limitación de velocidad y el tren puede circular a la velocidad máxima de servicio de 80 km/h.

Tabla 4. Velocidades máximas permitidas en función del PK (menores a 80/km/h)

PK de inicio de la curva	PK de fin de la curva	Longitud del tramo cuya velocidad está limitada (m)	Radio de curva (m)	Velocidad máxima (km/h)
1607	1679	72	410	73
1909	1939	29	410	73
2325	2405	80	410	73
4966	4990	25	450	76
6450	7085	635	400	72
7686	7757	71	400	72
7977	8085	108	400	72
8962	9559	598	400	72
10046	10153	107	400	72
13691	14170	479	420	74

3.3.3. Terminales

Las terminales se definen como las áreas constituidas por las últimas estaciones en ambos lados de la línea y por los dispositivos de maniobra (retorno) y de estacionamiento que se están previendo en estas áreas para la operación de la línea.

La sección de línea explotada (servicio comercial) corresponde con la sección de línea incluida entre las dos estaciones terminales que son las estaciones Fontanar (Estación 11) y Calle 72 (Estación 1).

Estas dos estaciones terminales están diseñadas tomando en cuenta la integración de estas dos estaciones en el dispositivo del SITP de tal manera que se favorezcan los intercambios entre la L2MB y los demás sistemas de transporte del SITP. Cabe precisar que la estación terminal Calle 72 (Estación 1) se convertirá en el nodo central de la red de transporte masivo de Bogotá, considerando la conexión directa con la Estación 16 de la PLMB, con el Transmilenio de la Avenida Caracas y la cercana conexión con el sistema de transporte del Corredor Verde.

3.3.3.1. Fontanar

La estación Fontanar es una estación de retorno con dos vías y un andén lateral. El esquema siguiente presenta el plano de vías funcional de la terminal.

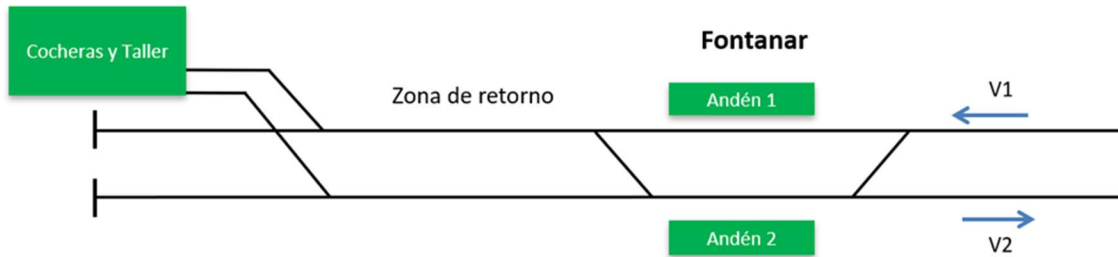


Figura 3. Estación terminal Fontanar

Todos los trenes llegan al andén 1, y luego realizan una maniobra de retorno detrás de la estación para llegar al andén 2 y después salir hacia la dirección Calle 72. Los aspectos funcionales como el intervalo mínimo al terminal se han detallado en la sección 4.1.3.

3.3.3.2. Calle 72

La estación Calle 72 es una estación de retorno con dos vías y un andén lateral. El esquema siguiente presenta el plano de vías funcional de la terminal.

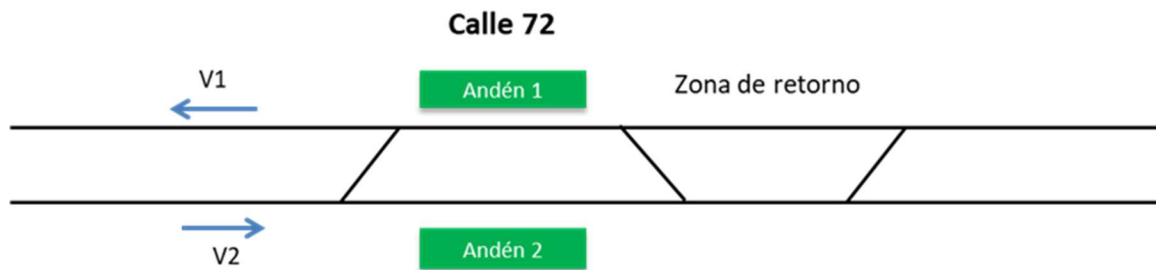


Figura 4. Estación terminal Calle 72

Todos los trenes llegan al andén 2, y luego realizan una maniobra de retorno detrás de la estación para llegar al andén 1 y después salir hacia la dirección Fontanar. Los aspectos funcionales como el intervalo mínimo al terminal se han detallado en la sección 4.1.3.

3.3.4. Ubicación geográfica de las cocheras, máquina de lavado y taller

Se propone situar las cocheras y el taller detrás de la estación Fontanar como se muestra en la siguiente figura:



Figura 5. Instalaciones del patio-taller de la L2MB

3.3.5. Vías de enlace

El enlace entre la L2MB y el taller está ubicado detrás de la estación Fontanar y están conectados con ambas vías.

3.3.6. Cocheras y máquina de lavado

En las cocheras, se dispondrá de 30 posiciones de estacionamientos en el área cubierta. El número de trenes que resulta en los capítulos siguientes es de 25, por lo tanto, verifica.

Las posiciones de estacionamiento se definen en las cocheras y en las estaciones terminales. Cuando la flota en operación no pueda aparcar en su totalidad en estas posiciones de estacionamiento, será posible aparcar los trenes en los andenes de algunas estaciones.

La máquina de lavado se ubica junto a las cocheras. Los trenes pasarán automáticamente por ella para realizar una limpieza profunda según la configuración del programa de operación. La posición exacta no está aún determinada y necesita de un estudio en detalle.

3.3.7. Taller

El taller estará ubicado junto a las cocheras, detrás de la estación Fontanar. Este permite realizar las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo de los trenes.

El taller dispondrá entre otros de los elementos siguientes:

- 2 vías de 100m para vehículos de mantenimiento de infraestructura, estacionamiento y formación de convoy;
- Área externa para carga y descarga de camiones;
- Almacén exterior con una superficie de 500 m².

Los movimientos en esta zona están controlados por el Puesto de Maniobras del Taller (PMT). La zona de circulación de los trenes automáticos deberá cercarse para impedir la entrada de personas en las vías, por cuestiones de seguridad.

3.3.8. Posiciones de transferencia

Se debe instalar en el taller unas posiciones de transferencia. Estas posiciones deben permitir la transferencia de trenes en condiciones de seguridad entre la zona de conducción automática y una zona de conducción manual, y viceversa. Un comando in-situ (para cada lugar de transferencia) debe permitir al personal de mantenimiento inmovilizar el tren (interruptor de automático a manual).

Este comando debe permitir devolver al operador CCO la autorización para operar nuevamente de manera automática en la posición de transferencia.

3.3.9. Esquema de la vía de enlace, talleres y cocheras

Se presenta a continuación el flujo de trabajo al cual corresponde el esquema funcional del patio taller.

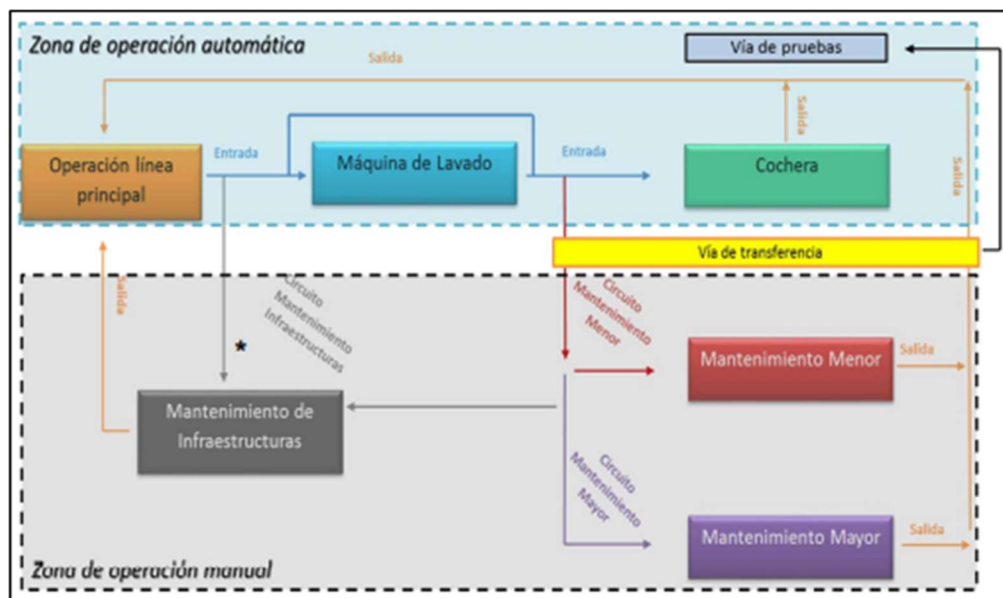


Figura 6. Flujo de trabajo

3.3.9. Interoperabilidad con línea 1

Luego de un análisis de oportunidades se ha establecido que no habrá interoperabilidad ferroviaria entre ambas líneas. Se ha determinado inviable la existencia de un enlace operativo entre ambas líneas toda vez que en el lugar de encuentro una es elevada y la otra es subterránea. El desnivel de cota de riel entre ambas líneas es del orden de los 40 m por lo que no es posible la construcción de un tal enlace.

En términos de gestión de la operación y mantenimiento, toda vez que dichas actividades estarán en cabeza de consorcios distintos, no se identifican necesidades de obligar a mancomunar actividades sino que, para mantener los CAPEX y OPEX más bajos posibles, que cada uno determine la organización de la producción según sus propios criterios, con independencia del otro, y en un todo de acuerdo con los términos de la futura licitación. Esto último, es particularmente valioso en relación a la apertura a la competencia en fase de licitación de L2MB.

En suma, el intercambio operacional entre PLMB y L2MB queda limitado al intercambio de información relativa al estado del servicio, y eventuales degradaciones del servicio. A tal efecto está prevista el intercambio bidireccional de información entre los CCOs de cada línea.

3.4. CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO

3.4.1. Descripción del tren

Las características del material rodante sobre las cuales se basa el cálculo del desempeño de la Línea 2 del Metro de Bogotá se presentan en la tabla y curva siguientes:

Tabla 5. Hipótesis sobre el material rodante

Diagrama de puertas	Número de puertas por coche, por lado	4
	Pasaje libre por puerta	1,60 m
Dimensión	Longitud total del tren (7 coches)	145 m
	Ancho del tren	2,90 m
Diagrama interior	Tipo	1 nivel
	Inter Circulación	En todo el tren
	Norma de comodidad	6 pasajeros/m ²
	Capacidad por tren, respetando la norma de comodidad	1800 pasajeros
	Proporción de pasajeros sentados	10.8 %

Desempeño	Velocidad máxima de servicio	80 km/h		
	Masa estática (con 6 pax/m2)	402 toneladas		
	Masa rotacional	10 %		
	Frenado de servicio	1 m/s ²		
	Aceleración máxima	1,1 m/s ²		
	Esfuerzo resistente = $A + B*V + C*V^2$	A	6236,54 N	
		B	45,42 N*h/km	
C		0,93 N*h ² /km ²		
Tiempo técnico	Inversión del sentido de circulación	10 s		
Energía	Alimentación	Catenaria rígida		
	Tensión	1500 V		

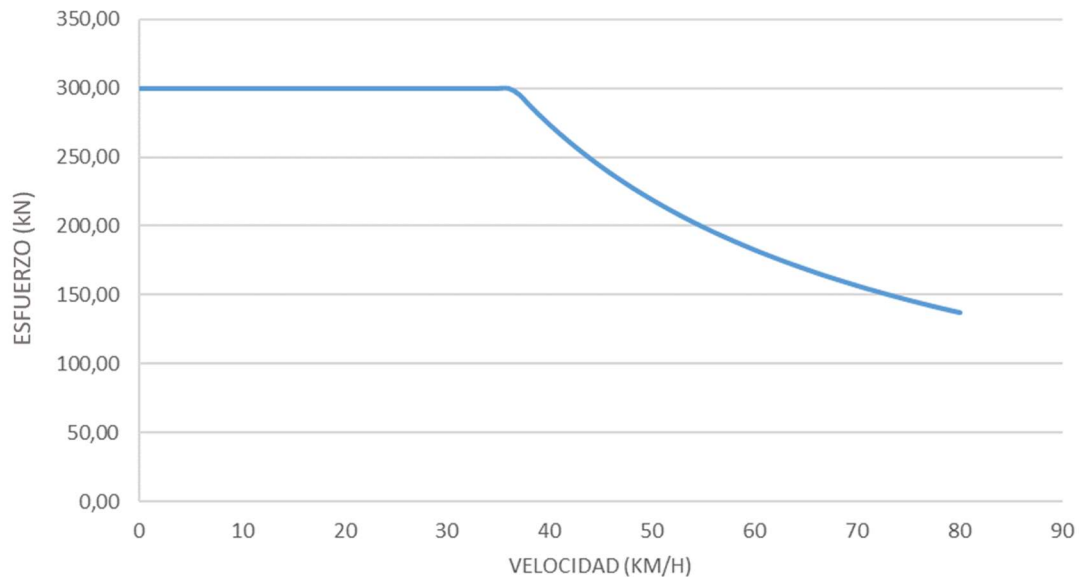


Figura 7. Curva de esfuerzo velocidad del material rodante de la L2MB

3.4.2. Características de las estaciones

Las 11 estaciones de la L2MB fueron diseñadas y dimensionadas para poder cumplir con la demanda para atender a lo largo del día de conformidad con las varias normas de seguridad y evacuación que rigen estos aspectos.

3.4.2.1. Normativas

Se presenta a continuación la lista de normativas consideradas para el diseño y dimensionamiento de las estaciones de la L2MB:

- NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems.
- NFPA-101: Life Safety Code. Capítulos 7 y 12.
- Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP).
- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (2010)
- Normas Técnicas Colombianas (NTC).

3.4.2.2. Criterios de diseño

3.4.2.2.1. Principios generales

La Línea 2 del Metro de Bogotá contiene once estaciones, de las cuales diez son subterráneas y una elevada:

		Tipo	Integración
E1	Calle 72	Subterránea	Línea 1 + Transmilenio
E2	Av. NQS	Subterránea	Transmilenio
E3	Av. 68	Subterránea	Transmilenio
E4	Av. Boyacá	Subterránea	Transmilenio
E5	Av. Cali	Subterránea	–
E6	Calle 80	Subterránea	Transmilenio
E7	Carrera 91	Subterránea	–
E8	Humedal	Subterránea	–
E9	ALO Sur	Subterránea	–
E10	ALO Norte	Subterránea	–
E11	Fontanar	Elevada	–

Una vez definido el concepto de mono túnel en doble vía cuya justificación se encuentra detallada en el capítulo Proyecto Túnel 3.3.2, se impone el concepto de plataformas laterales para no incrementar las obras necesarias ni tampoco el CAPEX. Así, todas las estaciones serán de plataformas laterales con 145 m. de longitud útil, definido por dimensiones del sistema metro, y con un ancho de 4,50 m. para todas las estaciones, con excepción de E1, que tendrá 6,00 m de ancho, para adaptarse a las mayores necesidades por su combinación con la Línea 1.

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

Todas las estaciones subterráneas, con excepción de las estaciones E3 y E11, serán construidas bajo espacios originalmente ocupados por terrenos privados para que no se tengan afectaciones significativas en calles y avenidas. Los inmuebles privados afectados demandarán su compra o expropiación. La estación E3, excepcionalmente, ocupará un espacio público en el interior del distribuidor vial de Carrera 68 con calle 68 y calle 72. Contemplará también la integración con Transmilenio en Av. 68. Durante la obra, se realizarán cortes de tránsito de corta duración en la calle 72, calzada hacia Occidente. Las obras de esta estación serán ejecutadas en fases y observarán la correcta reubicación temporal de tráfico.

Para las estaciones subterráneas se propuso proyecto prototípico, aplicable a todas, con variaciones debidas a su implantación urbana y especificidades de programa. También los módulos de accesos y parqueaderos serán proyectos prototípicos, adaptables a la demanda de cada estación y su implantación urbana. Ello así para lograr una mejor legibilidad de los espacios de la estación para los usuarios en fase de obras, pero también para que el constructor pueda optimizar y reducir sus costos por estandarización y pueda reducir el CAPEX necesario con beneficio para el cliente final EMB.

La Estación E1 – Calle 72 está integrada a Línea 1 y se requiere espacios específicos para esta conexión, tanto en la Línea 2 como en la Línea 1. Las estaciones E1, E2, E3, E4 y E6 estarán integradas a Transmilenio y se requiere espacio en las estaciones del Transmilenio para que emerjan las escaleras y ascensores necesarios.

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

3.4.2.2.2. Análisis de las dimensiones de las áreas de pasajeros y condiciones de evacuación

Toda vez que las estaciones 2 a 10 son iguales, se verificaron todas juntas mediante la verificación de la más solicitada de ellas. Así, los análisis de dimensiones de las áreas de pasajeros y condiciones de evacuación se basaron en el ejemplo de la Estación 3 – Av. 68, la más cargada de las estaciones donde se propone el proyecto prototípico.

Por su parte, la estación 1 recibió un análisis ad hoc puesto que tiene una configuración de infraestructura particular.

Los análisis de evacuación se basarán en los conceptos de la NFPA130 de tiempo evacuación y llegada en era segura.

El análisis de Confort fue basado en los niveles de servicios del Pedestrian Planning and Design (Fruin, 2010). Se presenta a continuación:

3.4.2.2.2.1. Estación tipo

Datos de Demanda:

Hora pico mañana	Sentido Norte - Sur		Sentido Sur - Norte	
Estación	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

3 - Av. 68	1.838	13.272	3.485	2.602
	Desembarque	Embarque	Desembarque	Embarque

Supuestos basados en la NFPA:

	CONDICIONES NORMALES		CONDICIONES DE EMERGENCIA	
Headway	2,17	min	2,17	min
Trenes por hora	28	trenes	28	trenes
Capacidad de flujo EF ascendente	0,045	personas/mm-min	0,0555	personas/mm-min
Capacidad de flujo EF descendente	0,045	personas/mm-min	0,0555	personas/mm-min
Capacidad de flujo EM	150	personas/min	75	personas/min
Faja anden (borde)	0,45	m	0,45	m
Faja anden (pared)	0,30	m	0,3	m
Composición metroviaria	1.800	pasajeros	1.800	pasajeros
Velocidad flujo plataformas	37,7	m/min	37,7	m/min
Velocidad flujo escaleras	14,6	m/min	14,6	m/min
Velocidad flujo vestíbulo	61	m/min	61	m/min
Bloqueos Embarque	16,67	personas/min		
Bloqueos Desembarque	16,67	personas/min	25	personas/min
Portones	60	personas/min	60	personas/min

Datos del proyecto:

Ancho Anden	4,5	m
Longitud Anden	145	m
Área Anden	952,5	m ²
Área de Estoque Anden	844	m ²
Área Mez -1	1200	m ²
Escaleras Fijas	9,6	m
Escaleras Mecánicas	2	m
Trayecto máx. Plataformas	26	m
Trayecto intermedio	30	m
Trayecto vestíbulo hasta línea de control de pasajes	30	m
Trayecto línea de control de pasajes hasta accesos	30	m
Cota Plataformas	-28,90	m
Cota Mez -3	-21,08	m
Cota Mez -2	-13,94	m
Cota Mez -1	-7,88	m
Cota Superficie	0	m
Nº gates/ molinetes	20	
Portones	2	

Los resultados de los análisis muestran que las dimensiones dedicadas a los espacios principales de pasajeros permiten un buen nivel de comodidad en el funcionamiento normal y una evacuación segura en un tiempo aceptable. A continuación, se muestran los resultados detallados de los análisis.

VERIFICACIÓN 1 - Vaciar la plataforma en menos de un intervalo en condiciones normales

Tiempo de vaciamiento 0,34 min VERIFICA

VERIFICACIÓN 2 - Índice de Confort en plataformas < 1,5 persona/m²

Índice de Confort	0,57 personas/m ²	VERIFICA
VERIFICACIÓN 3 - IC en nivel mezzanina -3. (arriba de las plataformas) < 1,5 persona/m²		
Índice de Confort	0,45 personas/m ²	VERIFICA
VERIFICACIÓN 4 - Distancia < 100m en las plataformas hacia escaleras o ascensores		
Trayecto máx. anden	26 m	VERIFICA
VERIFICACIÓN 5 - Índice de Confort en condiciones de emergencia < 3,3 personas/m² en la plataforma		
Índice de Confort	2,39 personas/m ²	VERIFICA
VERIFICACIÓN 6 - Escaleras o ascensores en condiciones de emergencia < 3,3 personas/m² en el Mez -3		
Índice de Confort	1,98 personas/m ²	VERIFICA
VERIFICACIÓN 7 - Evacuación de las plataformas (hasta 4 minutos)		
Tiempo de evacuación	3,75 min	VERIFICA
VERIFICACIÓN 8 - Llegar en zona segura (hasta 6 minutos)		
Tiempo total para llegar en zona segura (Mez -1)	4,29 min	VERIFICA

3.4.2.2.2.2. Calle 72

Datos de Demanda:

Hora pico mañana	Sentido Norte - Sur		Sentido Sur - Norte	
	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos
Estación				
1 – Calle 72	0	30.902	11.847	0
	Desembarque	Embarque	Desembarque	Embarque

Supuestos basados en la NFPA:

	CONDICIONES NORMALES		CONDICIONES DE EMERGENCIA	
Headway	2,17	min	2,17	min

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Trenes por hora	28	trenes	28	trenes
Capacidad de flujo EF ascendente	0,045	personas/mm-min	0,0555	personas/mm-min
Capacidad de flujo EF descendente	0,045	personas/mm-min	0,0555	personas/mm-min
Capacidad de flujo EM	150	personas/min	75	personas/min
Faja anden (borde)	0,45	m	0,45	m
Faja anden (pared)	0,30	m	0,3	m
Composición metroviaria	1.800	pasajeros	1.800	pasajeros
Velocidad flujo plataformas	37,7	m/min	37,7	m/min
Velocidad flujo escaleras	14,6	m/min	14,6	m/min
Velocidad flujo vestíbulo	61	m/min	61	m/min
Bloqueos Embarque	16,67	personas/min		
Bloqueos Desembarque	16,67	personas/min	25	personas/min
Portones	60	personas/min	60	personas/min

Datos del Proyecto:

Ancho Anden	6	m
Longitud Anden	145	m
Área Anden	1170	m ²
Área de Estoque Anden	1061	m ²
Área Mez -1	1200	m ²

Escaleras Fijas	12	m
Escaleras Mecánicas	2	m
Trayecto máx. Plataformas	26	m
Trayecto intermedio	30	m
Trayecto vestíbulo hasta línea de control de pasajes	30	m
Trayecto línea de control de pasajes hasta accesos	30	m
Cota Plataformas	-28,90	m
Cota Mez -3	-21,08	m
Cota Mez -2	-13,94	m
Cota Mez -1	-7,88	m
Cota Superficie	0	m
Nº gates/ molinetes	20	
Portones	2	

Los resultados de los análisis muestran que las dimensiones dedicadas a los espacios principales de pasajeros permiten un buen nivel de comodidad en el funcionamiento normal y una evacuación segura en un tiempo aceptable. A continuación, se muestran los resultados detallados de los análisis.

VERIFICACIÓN 1 - Vaciar la plataforma en menos de un intervalo en condiciones normales

Tiempo de vaciamiento 1,02 min VERIFICA

VERIFICACIÓN 2 - Índice de Confort en plataformas < 1,5 persona/m²

Índice de Confort 1,05 personas/m² VERIFICA

VERIFICACIÓN 3 - IC en nivel mezzanina -3. (arriba de las plataformas) < 1,5 persona/m²

Índice de Confort 0,93 personas/m² VERIFICA

VERIFICACIÓN 4 - Distancia < 100m en las plataformas hacia escaleras o ascensores

Trayecto máx. andén 26 m VERIFICA

VERIFICACIÓN 5 - Índice de Confort en condiciones de emergencia < 3,3 personas/m² en la plataforma

Índice de Confort	2,49	personas/m ²	VERIFICA
VERIFICACIÓN 6 - escaleras o ascensores en condiciones de emergencia < 3,3 personas/m² en el Mez -3			
Índice de Confort	2,43	personas/m ²	VERIFICA
VERIFICACIÓN 7 - Evacuación de las plataformas (hasta 4 minutos)			
Tiempo de evacuación	3,94	min	VERIFICA
VERIFICACIÓN 8 - Llegar en zona segura (hasta 6 minutos)			
Tiempo total para llegar en zona segura (Mez -1)	4,47	min	VERIFICA

3.4.3. Puesta en servicio

Se consideró para el propósito del Plan de Operación Preliminar una hipótesis de puesta en servicio en el año 2032.

3.4.4. Horarios

Entre los días lunes y sábado, los primeros trenes comerciales de la L2MB saldrán de las estación terminal Fontanar a las 04h30 mientras que de la estación calle 72 lo harán a las 5h00. Los últimos trenes lo harán de ambas estaciones terminales a las 23h00.

Para los días domingos y festivos, los primeros trenes comerciales de la L2MB saldrán de las estaciones terminales a las 5h30, y los últimos trenes lo harán de las estaciones terminales a las 22h00.

Se ha previsto el inicio del servicio diario 4:30 AM en correspondencia con un incremento más significativo de la carga horaria de TM frente a la carga de las 4 AM, para lograr un mejor alineamiento de la capacidad de transporte masiva con mayores niveles de demanda.

La siguiente tabla muestra la propuesta para la evolución del intervalo a lo largo de un día de semana:

Tabla 6. Evolución del intervalo de línea a lo largo del día en 2032

Horario	Intervalo de operación (en minutos)			Intervalo de operación (en minutos)		
	Fontanar -> Calle72			Calle72 -> Fontanar		
	Laboral (lunes - viernes)	Sábados	Domingos y festivos	Laboral (lunes - viernes)	Sábados	Domingos y festivos
04h30-05h00	10,0	10,0	-	-	-	-
05h00-05h30	10,0	10,0	-	10,0	10,0	10,0
05h30-06h00	8,7	10,0	10,0	8,7	10,0	10,0
06h00-06h30	4,3	5,0	6,2	4,3	5,0	6,2
06h30-09h00	2,2	3,1	6,2	2,2	3,1	6,2

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

	(hora pico)	(hora pico)		(hora pico)	(hora pico)	
9h-12h	4,9	5,0	5,0	4,9	5,0	5,0
12h-14h	4,3	5,0	5,0	4,3	5,0	5,0
14h-17h	4,9	5,0	5,0	4,9	5,0	5,0
17h-20h	2,2 (hora pico)	3,1	6,2	2,2 (hora pico)	3,1	6,2
20h-21h	4,4	5,0	10,0	4,4	4,4	6,0
21h-22h	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	6,0
22h-23h	10,0	10,0	-	10,0	10,0	-
23h-24h	-	-	-	-	-	-

La tabla horaria (similar a la de la PLMB) se define de conformidad al perfil de demanda diario de la línea tomando en cuenta como premisa fundamental el intervalo mínimo para poder atender la demanda máxima identificada en hora pico y la necesidad de mantener una oferta atractiva en hora valle.

Se precisa que se podrán realizar cambios a esta tabla horario en el caso que la Empresa Metro de Bogotá lo encuentre relevante y especialmente, para adaptarla a las características de la oferta de los demás sistemas de transporte colectivo conectados con la L2MB.

Cabe también precisar que no siempre se busca definir horarios similares entre sistemas de transporte dado que no están definidos para atender las mismas pautas de movilidad.

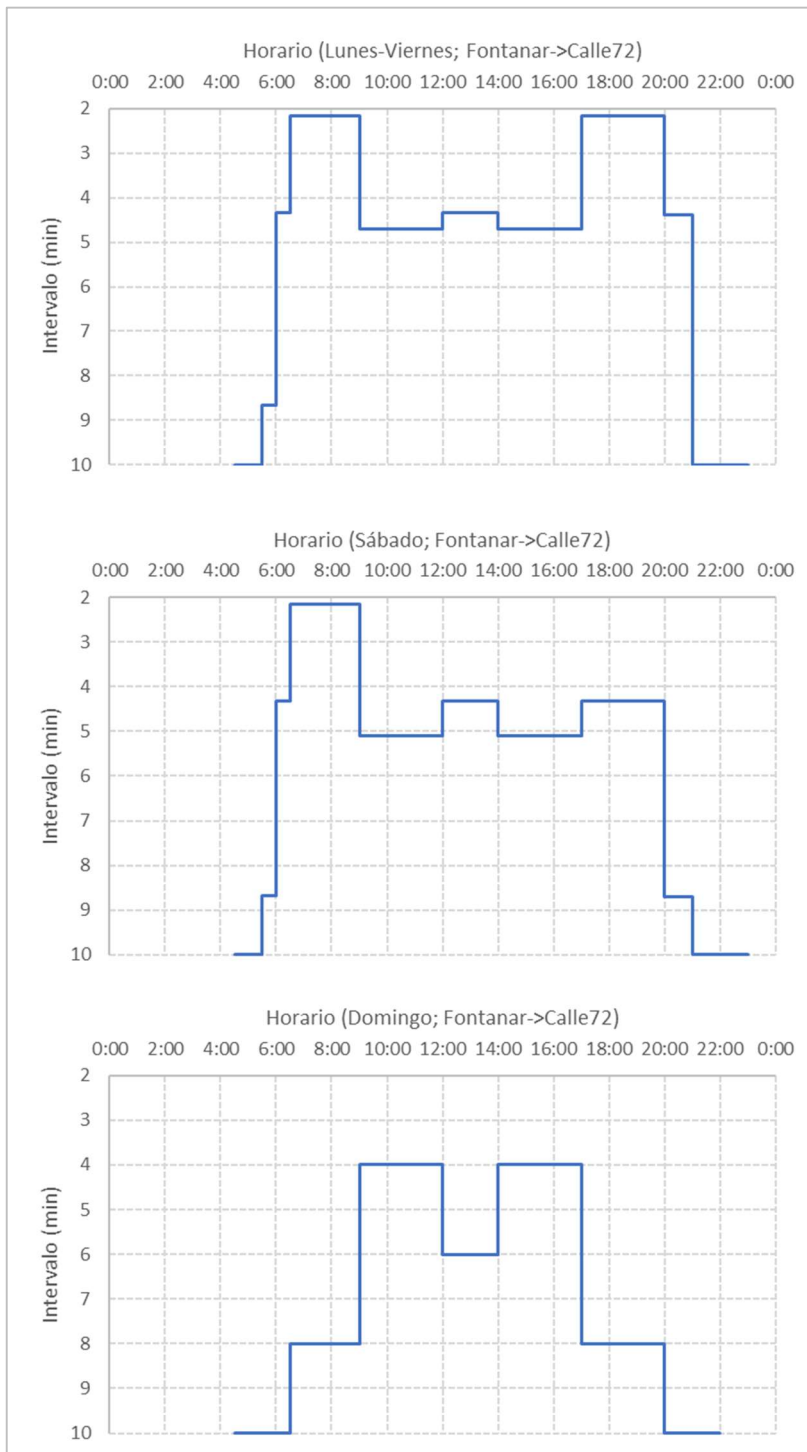


Figura 8. Evolución del intervalo de la línea a lo largo de un día de semana en 2032

Los horarios de operación podrían extenderse durante eventos especiales o días festivos. El período dedicado al mantenimiento de la infraestructura será aproximadamente de las 00:00 am a las 4:00 am.

Los trenes serán insertados y retirados gradualmente al cambio de intervalo en la tabla horaria. Se muestra el número de trenes a insertar y retirar en la tabla en Apéndice.

3.4.5. Tipo de servicio comercial

3.4.5.1. Modo nominal

Se prevé operar de igual manera tanto para la hora pico como para la hora valle. Una única misión entre Fontanar y Calle 72 está prevista.

3.4.5.2. En modo degradado

Los aparatos de vía deben permitir realizar la maniobra de retorno de los trenes en caso de obstrucción de la vía (debida a la falla de un tren, o a la falla de un equipo) para poder realizar servicios provisorios.

3.4.6. Kilometraje anual

El kilometraje anual es la distancia total recorrida por la totalidad de los trenes de la flota durante un año, y se calcula como el sumo del kilometraje comercial y el kilometraje en vacío. El primero representa la distancia recorrida por los trenes comerciales (con pasajeros), y el posterior corresponde a la distancia recorrida por los trenes sin pasajeros: por ejemplo, los trenes en la zona de maniobras y ellos en desplazamiento entre el patio-taller a una estación al inicio o al fin de la operación del día.

Se puede calcular los ambos kilometrajes a partir de los horarios de operación de la línea a lo largo del día para los diferentes tipos de días (días laborales, sábados, domingos y festivos), junto con la longitud de la línea. El cálculo es aproximado con el número de salidas por día en cada sentido para el kilometraje comercial. Para el kilometraje en vacío, cada una de salida es asociada con dos retornos en las terminales y se ha incluido también el desplazamiento de trenes en el trayecto entre el patio-taller y las terminales.

Tabla 7. Kilometraje anual de la L2MB

Kilometraje anual	Laboral (lunes - viernes)	Sábados	Domingos y festivos	Total anual
Días de operación por año	244	52	69	365
Número de salidas por día (en los dos sentidos)	291	238	170	-
Kilometraje comercial anual (tren.km/año)	2 039 803	355 538	336 979	2 732 320
Kilometraje en vacío anual (tren.km/año)	114 997	19 982	19 810	154 790

Kilometraje anual	Laboral (lunes - viernes)	Sábados	Domingos y festivos	Total anual
Kilometraje total anual (tren.km/año)	2 154 800	375 520	356 790	2 887 110

3.4.7. Tiempo de retorno en terminal

La configuración de las estaciones terminales es estratégica para asegurar la regularidad del tráfico. La estación terminal debe permitir el retorno de trenes y, al mismo tiempo, realizar el intervalo mínimo deseado. Además, debe también proporcionar suficiente margen de tiempo para recuperar un retraso de menor magnitud y así mantener el intervalo previsto.

3.4.8. Modos de conducción

En función de los requerimientos de operación, del tráfico y del estado de los equipamientos, se debe poder operar en modo de conducción automático (UTO, sin conductor) en modo nominal o en modo de conducción manual (con conductor) en modo degradado.

El modo de funcionamiento nominal para la operación con pasajeros debe ser de conducción automática y sin asistencia, es decir, UTO. Este modo debe ser utilizado en las vías principales, en la vía de pruebas, en las zonas de retorno de la línea, talleres hasta la zona de transferencia, en las cocheras y en la máquina de lavado.

Este modo aporta una mayor flexibilidad a la operación pudiendo, por ejemplo, añadir trenes en caso de aumento inesperado de la demanda. Es también el modo más económico en términos de costos de operación y mantenimiento.

En modo UTO, las siguientes funciones deben ser automáticas:

- Parada del tren en estación, salida de estación;
- Conducción de trenes, respetando los límites de velocidad;
- Apertura/cierre de puertas del tren y del andén;
- Gestión de la energía de tracción;
- Regulación del tráfico;
- Gestión de rutas.

Se debe admitir la posibilidad de conducir los trenes en modo manual. Este modo de conducción debe tener una restricción de velocidad asociada. Este modo se debe utilizar cuando el modo UTO no está disponible por motivo de falla o en las zonas de conducción manual, como los talleres. En este modo, la conducción del tren está bajo responsabilidad del conductor.

En conclusión, una línea automática también necesita personal para poder ser operada, pero en puestos diferentes a los de una línea con conductores.

4. CÁLCULOS DE DESEMPEÑO DE LA L2MB

4.1. DEFINICIONES Y MÉTODO

4.1.1. Capacidad de la línea

La capacidad de la línea es el número máximo de personas que pueden ser transportadas en la línea por hora y por dirección. El valor depende de la norma de comodidad considerada para el proyecto, y en el caso de la PLMB, FDN ha definido un valor de 6 pasajeros por m². Se toma entonces este valor para la L2MB.

La capacidad debe ser adaptada a la demanda por hora y por dirección (expresado en número de Pasajeros Por Hora Por Dirección, PPHPD) que ocurre en las horas punta y en el tramo más cargado.

4.1.2. Tiempo de estacionamiento en las estaciones

El tiempo de estacionamiento se define como la duración desde la parada del tren en la estación hasta cuando inicia su salida de la misma. Se incluyen los tiempos de puertas (apertura y cierre) y los para el ascenso y el descenso de los pasajeros.

4.1.3. Tiempo de retorno en la estación terminal

Es el tiempo que un tren necesita para ir de una vía a la otra desde el momento que se detiene en el andén de llegada hasta el momento que inicia la salida desde el andén de salida. Se incluyen los tiempos de estacionamiento, los tiempos de recorrido en la zona de maniobras y el tiempo de cambio de dirección.

4.1.4. Intervalo mínimo práctico en línea

El intervalo mínimo práctico en línea es el tiempo mínimo entre dos trenes consecutivos que permite el desplazamiento del segundo sin que su recorrido sea afectado por la circulación del primero. Ese intervalo depende del desempeño del sistema de señalización, del tiempo de estacionamiento máximo y de las características del material rodante (longitud del tren, índices de aceleración y desaceleración). El intervalo mínimo práctico es calculado con un margen, ya que no es posible sostener la operación sin este margen.

4.1.5. Intervalo mínimo de retorno en la estación terminal

El intervalo mínimo de retorno es definido como el intervalo mínimo práctico en la estación terminal. Además de los parámetros ya mencionados en la definición del intervalo mínimo práctico, el intervalo mínimo de retorno depende de la configuración de la terminal.

4.1.6. Intervalo mínimo operacional

El intervalo mínimo operacional tiene que ser superior al intervalo mínimo práctico y al intervalo mínimo de retorno. Además, el intervalo mínimo operacional debe incluir un margen. De no ser así, el menor incidente podría provocar demoras impactando la totalidad de la línea.

4.1.7. Método para el cálculo

El dimensionamiento de la línea empieza con la consideración de las previsiones de tráfico (demanda), las características del trazado de la línea y las dimensiones de los trenes. El trazado incluye el sistema de señalización

(bloque móvil en el caso de la L2MB), y las dimensiones de los trenes incluye la capacidad, las dimensiones de los equipamientos (puertas, asientos, etc.) y el desempeño (aceleración, deceleración, etc.) del material rodante, conforme a una norma de comodidad predefinida. La capacidad del material rodante y el PPHPD previsto permite calcular el intervalo según la demanda, es decir, la frecuencia de trenes necesaria para satisfacer la demanda. La factibilidad de este intervalo se verificará con el intervalo mínimo práctico en la línea, a partir del trazado y el desempeño del material rodante: si el primero es superior al posterior, se puede aceptar el primero.

Por otra parte, los tiempos de recorrido y de retorno pueden ser calculados con el trazado y el desempeño del material rodante. Además, el tiempo de estacionamiento en cada estación y cada dirección puede ser estimado con el PPHPD previsto y la dimensión del material rodante. Estos tiempos definen tanto la velocidad comercial entre las terminales como el tiempo de recorrido de la vuelta redonda del tren en la línea. Últimamente, con el tiempo de vuelta redonda y el intervalo mínimo operacional, se puede determinar el tamaño de la flota del material rodante.

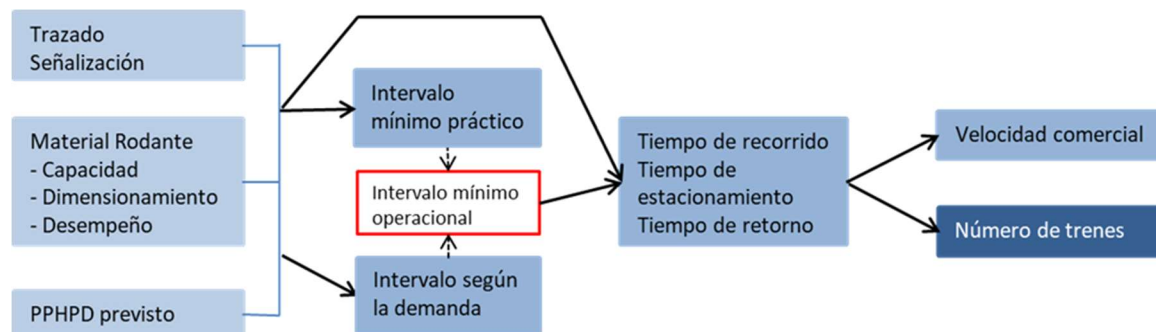


Figura 9. Método de dimensionamiento de la L2MB

4.2. CALCULO DE DESEMPEÑO DE LA LÍNEA

Para el cálculo de desempeño de la Línea 2 del Metro de Bogotá para el año 2032 se procede de la siguiente manera:

- Se indica las previsiones de demanda;
- Se calcula los tiempos mínimos de estacionamiento en cada estación y cada sentido;
- Se calcula el intervalo necesario para satisfacer la demanda en hora pico, y se comprueba su factibilidad en la línea y en las terminales;
- Se estima la velocidad comercial con base en los tiempos de recorrido simulados con la herramienta RailSys;
- Se dimensiona la flota de material rodante necesaria.

Como indicado en el apéndice 6.4, la demanda máxima (PPHPD) entre los años de operación del sistema no cambia mucho en el tiempo, y la demanda máxima identificada corresponde con el año 2042 donde se registra un PPHPD de 49.709. Considerando el bajo nivel de disminución / aumento de la demanda sobre el periodo observado (2032, 2042, 2052)¹, se propone la definición de una oferta de transporte constante en el tiempo y basada sobre la demanda máxima identificada para el horizonte 2042. La oferta definida en esta manera puede satisfacer la demanda durante el periodo observado.

¹ Ver informe A1 Modelo de Transporte

La oferta se define también como constante considerando que la poca evolución de la demanda en el tiempo no hace relevante que se contemple una compra e introducción progresiva de trenes en la flota. De hecho, se operará la L2MB desde su puesta en servicio y en adelante con la misma flota de trenes.

4.2.1. Escenario 2042

En este escenario, la L2MB operará entre las estaciones Fontanar y Calle 72. Todos los trenes realizan una misma misión, deteniéndose en cada estación.

4.2.1.1. Flujo de pasajeros

El flujo de pasajeros por estación de la L2MB en 2042 se presenta en el apéndice 6.4.1.

Los diagramas siguientes muestran la ocupación de los trenes en la L2MB durante la hora pico de la mañana:

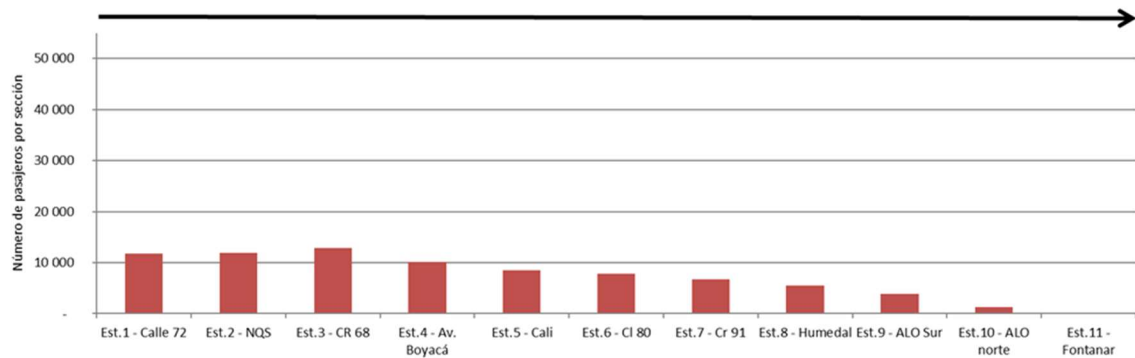


Figura 10. Número de usuarios de la L2MB durante la hora pico de la mañana en el Sentido hacia Fontanar para el año 2042

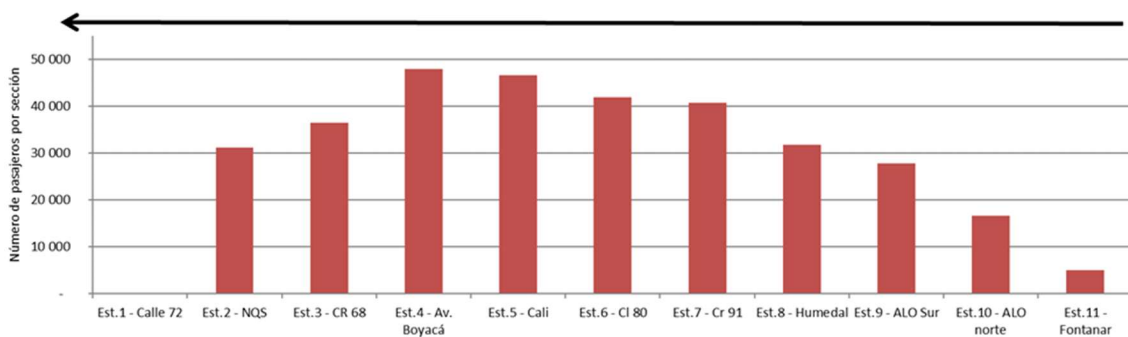


Figura 11. Número de usuarios de la L2MB durante la hora pico de la mañana en el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 para el año 2042

El tramo más cargado de la línea se observa entre las estaciones Av. Boyacá y CR 68, en la vía 2 en la hora punta de la mañana.

Tabla 8. PPHPD de la L2MB en la hora pico para el año 2042

	Año 2042
Tráfico máximo: AV. BOYACÁ – CR 68	49 709 pasajeros/hora-sentido

4.2.1.2. Cálculo del intervalo mínimo para satisfacer la demanda

Considerando la capacidad máxima del tren (C) y el valor del PPHPD previsto que se debe satisfacer, se deduce el número de trenes necesarios por hora (N) para adecuar la demanda y por lo tanto el intervalo mínimo necesario para el año 2042.

$$I = \frac{3600 * C}{PPHPD} ; N = \frac{PPHPD}{C}$$

Ecuación 1. Fórmulas del intervalo mínimo para satisfacer la demanda y del número de trenes asociado

Tabla 9. Desempeño requerido de la L2MB en horas pico en 2042

	Escenario 2042
Intervalo mínimo necesario para satisfacer la demanda	130 s
Frecuencia máxima necesaria para satisfacer la demanda	27.7 tren/hr
Estimación flota operativa	21 trenes

Un intervalo de 130,4 segundos (2 min 14 s) permite satisfacer la demanda para el año 2042. Para la simplificación, se redondea el intervalo a múltiplos de 5 segundos y **se propone un intervalo de 130 segundos (2 min 10 s) de donde resulta una capacidad de 49.846 pas/h-dir.**

4.2.1.3. Nivel de confort

Basándose en los flujos de pasajeros (ver 6.4) y en las características del material rodante (ver 3.4.1), se puede calcular el nivel de confort de los pasajeros en los trenes durante la hora pico, en función de la oferta de transporte (intervalo entre dos trenes sucesivos). Visto que no disponemos del diagrama del material rodante para la L2MB, se ha adoptado lo de la PLMB (i.e., espacios para los pasajeros) para el cálculo.

A continuación, se presenta el número de pasajeros parados por metro cuadrado libre en cada interestación, durante la hora pico de la mañana, en el sentido más cargado:

Tabla 10. Nivel de confort con intervalo de 130s, hora de pico de la mañana, para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 en 2042

Secciones		Número de pasajeros parados por m ²
Salida	Llegada	
1-Calle 72	2 - NQS	4.2
2 - NQS	3 - Av. 68	4.9
3 - Av. 68	4 - Av. Boyacá	5.8
4 - Av. Boyacá	5 - Av. Cali	5.6
5 - Av. Cali	6 - Calle 80	5.2
6 - Calle 80	7 - Carrera 91	5.2
7 - Carrera 91	8 - Humedal	4.0
8 - Humedal	9 - ALO Sur	3.5
9 - ALO Sur	10 - ALO Norte	2.2
10 - ALO Norte	11 - Fontanar	0.7

4.2.1.4. Cálculo de los tiempos de estacionamiento

El tiempo de estacionamiento depende de los flujos de pasajeros (6.4) y de las características del tren (3.4.1).

Para calcular el tiempo de estacionamiento se consideran:

- El tiempo técnico de apertura y cierre de las puertas del tren y del andén;
- El tiempo necesario para que los pasajeros bajen y suban.

$$Tiempo\ de\ estacionamiento = \frac{\left(\frac{subidas}{h} + \frac{bajadas}{h}\right) \times intervalo / 3600}{n^\circ\ de\ puertas \times flujo\ de\ personas\ por\ puerta} + tiempo\ de\ puertas$$

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo del tiempo de estacionamiento

El llamado tiempo de puertas es la suma de:

- Tiempo técnico entre la parada del tren y la apertura completa de las puertas de andén y puertas de tren,
- Tiempo técnico entre el inicio del cierre de las puertas de andén y puertas de tren y la salida del tren.

Se considera un tiempo de puertas de 5 segundos.

Los tiempos de estacionamiento se calculan para la hora pico de la mañana.

Se supone que el flujo de pasajeros que suben y bajan se encuentra distribuido uniformemente a lo largo del tren. Además, se redondea los tiempos de estacionamiento a múltiplos de 5 segundos.

Aunque las puertas de andén permiten una mayor regularidad en la línea, estas aumentan ligeramente el tiempo de estacionamiento. Por esta razón se adopta un tiempo de parada mínimo de 20 segundos en hora pico.

Los tiempos de estacionamiento en cada estación de la L2MB para el escenario 2042 con un intervalo de 130 segundos, son los siguientes:

Tabla 11. *Tiempos de estacionamiento durante la hora pico de la mañana en 2042 (intervalo 130s)*

Estaciones	Tiempo de estacionamiento (s)	
	Sentido hacia Fontanar	Sentido hacia Est.1 - Calle 72
Est.1 - Calle 72	(20)	(40)
Est.2 - NQS	20	20
Est.3 - CR 68	20	25
Est.4 - Av. Boyacá	20	20
Est.5 - Cali	20	20
Est.6 - Cl 80	20	20
Est.7 - Cr 91	20	20
Est.8 - Humedal	20	20
Est.9 - ALO Sur	20	20
Est.10 - ALO norte	20	20
Est.11 - Fontanar	(20)	(20)
Total (sin terminal)	180	185

Esta configuración es para prefactibilidad. Luego en el ET de Material Rodante se tiene que sostener el requerimiento funcional tal que se garantice el tiempo de estacionamiento, el TVR y la capacidad del tren.

4.2.1.5. Cálculo del intervalo mínimo práctico en línea

El cálculo de este intervalo se realiza mediante el programa RailSys. Para ello, se utilizan circulaciones tipo (con márgenes de regularidad), pues se quiere determinar el valor de este intervalo en situación nominal.

Mediante la simulación de la señalización CBTC, se ha podido comprobar el tiempo mínimo de salida entre dos trenes sucesivos sin que se produzca interferencia entre ellos. Para las simulaciones con bloque móvil, se adoptó una distancia de seguridad detrás del tren de 20 metros.

Los resultados de las simulaciones con RailSys, indican un intervalo mínimo práctico en línea de 85 segundos (75s + 10s margen). Los 75 s se constituyen de los 40 s de intervalo dinámico entre dos trenes sucesivos (valor convencional) y los 35 s de tiempo máximo de estacionamiento en toda la línea (en la estación 2 NQS).

Luego, el intervalo mínimo práctico en línea es:

Tabla 12. Intervalo mínimo práctico en línea en 2042

	Año 2042
Intervalo mínimo práctico en línea	85 s

4.2.1.6. Cálculo del intervalo mínimo de retorno en las estaciones terminales

El intervalo mínimo de retorno en la estación terminal es el tiempo mínimo entre dos trenes consecutivos que permite hacer el retorno sin que el primer tren perturbe el desplazamiento del segundo.

Para el cálculo del intervalo de retorno se ha considerado:

- 10 segundos para realizar el cambio de dirección del tren;
- Aparatos de vía (ADV) de 1/9 tg ubicados a 20 metros del inicio o fin del andén;
- Una velocidad de 45 km/h en toda la zona de maniobras detrás del andén de llegada, excepto en ADV donde se considera una velocidad de 40 km/h.

Para calcular los tiempos de recorrido en la terminal (llamado el tiempo de retorno), es necesario definir en primer lugar una serie de puntos de operación. En el orden cronológico, los trenes paran en el punto B (andén de llegada), el punto al fin de la zona de retorno (no incluido en la tabla) y luego el punto F (andén de llegada). En cada una de estas fases los trenes ocupan los andenes o la zona de retorno respectivamente. Para evitar la inferencia entre dos trenes consecutivos, el tren 2, quien llega después del tren 1, debe detenerse en arriba de la vía si el tren 1 ocupa y no libera completamente el andén o la zona de retorno. Tales posiciones corresponden a los puntos de parada A, C y E. Se define la liberación como el momento cuando el final del tren salga completamente las dichas zonas: se corresponden a los puntos de liberación B, D y F.

En las terminales Calle 72 y Fontanar, los puntos de paradas E se han posicionados al inicio de la zona de retorno, porque los trenes deben detenerse al exterior del ADV para seguridad si el tren precedente no ha liberado el andén de salida. Por esta razón, los tiempos de recorrido T3/2 y T3 son idénticos.

Tabla 13. Puntos de operación en las terminales

Punto de operación	Definición
P. Parada A	Punto donde debería detenerse el tren 2 si el tren 1 no ha liberado completamente el andén de llegada.
P. Liberación B	Punto para el cual se considera que el tren 1 ha liberado el andén de llegada.
P. Parada C	Punto donde debería detenerse el tren 2 si el tren 1 no ha liberado la posición de retorno o el ADV.
P. Liberación D	Punto para el cual se considera que el tren 1 ha liberado la posición de retorno o el ADV.
P. Parada E	Punto donde debería detenerse el tren 2 si el tren 1 no ha liberado completamente el andén de salida.

Punto de operación	Definición
P. Liberación F	Punto para el cual se considera que el tren 1 ha liberado el andén de salida.

Una vez definidos los puntos de operación, se calculan los siguientes tiempos de recorrido utilizando las simulaciones RailSys:

Tabla 14. Tiempo de recorrido y de parada en una terminal

Tiempos de recorrido	Definición
T1	Tiempo de recorrido entre el punto de perturbación de A y el punto de parada del andén de llegada.
T2/1	Tiempo de recorrido entre el punto de parada del andén de llegada y el punto de liberación B.
T2/2	Tiempo de recorrido entre el punto de perturbación de C y el punto de parada de la posición de retorno.
T2	Tiempo de recorrido entre el punto de parada del andén 1 y el punto de parada de la posición de retorno.
T3/1	Tiempo de recorrido entre el punto de parada de la posición de retorno y el punto de liberación D.
T3/2	Tiempo de recorrido entre el punto de perturbación de E y el punto de parada del andén de salida.
T3	Tiempo de recorrido entre el punto de parada de la posición de retorno y en el punto de parada del andén de salida.
T4	Tiempo de recorrido entre el punto de parada del andén de salida y el punto de liberación F.
Tiempos de parada	
ST1	Tiempo de parada en el andén de llegada.
ST2	Tiempo de parada en el punto de parada de posición de retorno.
ST3	Tiempo de parada en el andén de salida.

Con los tiempos de recorrido, los tiempos de estacionamiento en los andenes y en la posición de retorno (ST) y los tiempos técnicos (tt), se procede a calcular el intervalo mínimo de la terminal.

Como se definió anteriormente, este intervalo corresponde al tiempo mínimo necesario para liberar cada una de las posiciones (andén de llegada, posición de retorno y andén de salida) y permitir el acceso del siguiente tren sin que se produzcan perturbaciones entre ellos. Asimismo, para evitar la degradación sistemática de la línea, se considerará un margen mínimo para cada uno de los movimientos que realiza un tren en la terminal. Para la configuración analizada, se definen los siguientes márgenes:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = I - (T_1 + ST_1 + T_{2/1} + tt_1) \\ M_2 = I - (T_{2/2} + ST_2 + T_{3/1} + tt_2) \\ M_3 = I - (T_{3/2} + ST_3 + T_4 + tt_3) \end{array} \right\}$$

Ecuación 3. Cálculo de los márgenes de las terminales estudiadas

Los márgenes deben cumplir las siguientes condiciones:

- Positivos, de lo contrario, el tren siguiente tendrá que detenerse;

- Superior a 20 segundos para lograr un intervalo estable en la terminal.

4.2.1.6.1. Estación Fontanar

El funcionamiento de la terminal Fontanar es el siguiente: todos los trenes llegan al andén 1 donde se paran 20 segundos para permitir el descenso de los pasajeros. Luego, se dirigen a la vía de maniobra donde estacionan 10 segundos para realizar el cambio de dirección. Por último, parten al andén de salida por la vía 2, estacionan 20 segundos para permitir el ascenso de los pasajeros y finalmente partir hacia la próxima estación.

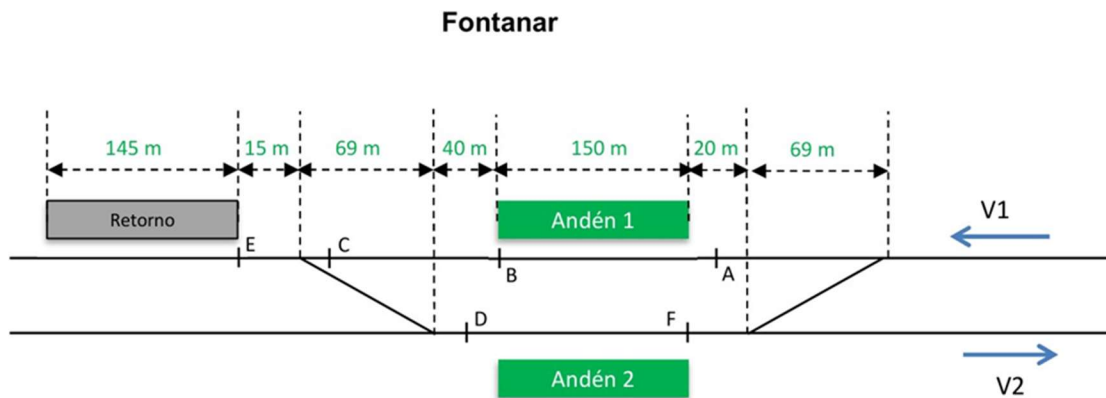
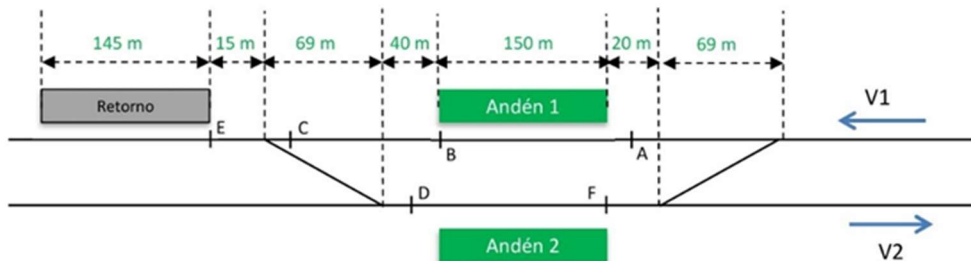


Figura 12. Retorno en la estación Fontanar

En operación nominal, los trenes realizan la maniobra de retorno detrás de la estación Fontanar. La configuración de la terminal permite también realizar la maniobra cero, es decir, con retorno delante de la estación por la vía 2. Esta maniobra permite recuperar un eventual retraso.

Las hipótesis adoptadas para el cálculo de los tiempos de recorrido están resumidas en el esquema que se encuentra a continuación. Estos resultan de las distancias definidas en la planimetría y se han calculado utilizando RailSys.

Fontanar



Intervalo = 130 s

Tiempo de recorrido		
Perturbación de A --> Andén 1	T1 =	27 s
Andén 1 --> Liberación de B	T1/2 =	21 s
Perturbación de C --> Zona de retorno	T2/2 =	23 s
Andén 1 --> Zona de retorno	T2 =	37 s
Zona de retorno --> Liberación de D	T3/1 =	29 s
Perturbación de E --> Andén 2	T3/2 =	38 s
Zona de retorno --> Andén 2	T3 =	38 s
Andén 2 --> Liberación de F	T4 =	22 s
Tiempos de parada		
Est Andén 1	St1 =	20 s
Est Zona de retorno	St Ret =	10 s
Est Andén 2	St2 =	20 s
Tiempo técnico		
Perturbación de A y B	tt1 =	07 s
Cambio del ADV	tt2 =	10 s
Liberación de E y D	tt3 =	07 s
Márgenes		
Margen 1 =	M1 =	55 s
Margen 2 =	M2 =	58 s
Margen 3 =	M3 =	43 s

Tiempo de retorno en la terminal = 125 s

Figura 13. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Fontanar

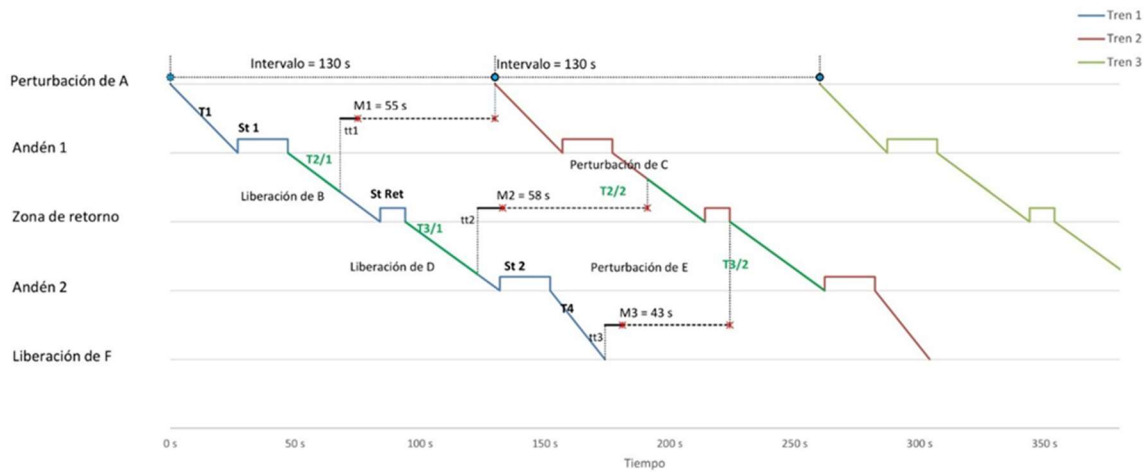


Figura 14. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Fontanar (visualización)

4.2.1.6.2. Estación Calle 72

El funcionamiento de la terminal Calle 72 es el siguiente: todos los trenes llegan al andén 2 donde se paran 40 segundos para permitir el descenso de los pasajeros. Luego, se dirigen a la vía de maniobra donde estacionan 10 segundos para realizar el cambio de dirección. Por último, parten al andén de salida por la vía 1, estacionan 20 segundos para permitir el ascenso de los pasajeros y finalmente partir hacia la próxima estación.

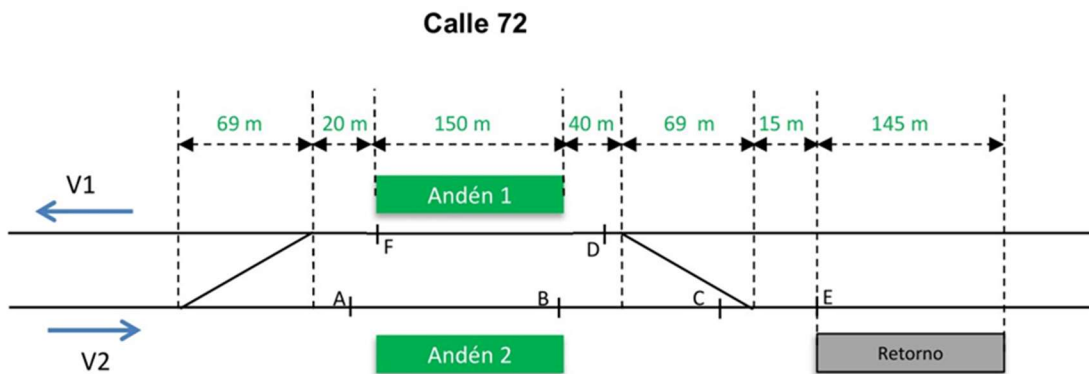
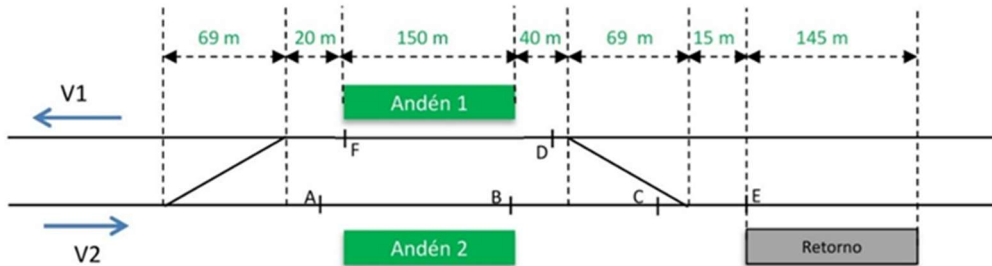


Figura 15. Retorno en la estación Calle 72

En operación nominal, los trenes realizan la maniobra de retorno detrás de la estación Calle 72. La configuración de la terminal permite también la maniobra cero, es decir, con retorno delante de la estación por la vía 1. Esta maniobra permite recuperar un eventual retraso.

Las hipótesis adoptadas para el cálculo de los tiempos de recorrido están resumidas en el esquema que se encuentra a continuación. Estos resultan de las distancias definidas en la planimetría y se han calculado utilizando RailSys.

Calle 72



Intervalo = 130 s

Tiempo de recorrido		
Perturbación de A --> Andén 2	T1 =	28 s
Andén 2 --> Liberación de B	T1/2 =	21 s
Perturbación de C --> Zona de retorno	T2/2 =	23 s
Andén 2 --> Zona de retorno	T2 =	37 s
Zona de retorno --> Liberación de D	T3/1 =	29 s
Perturbación de E --> Andén 1	T3/2 =	38 s
Zona de retorno --> Andén 1	T3 =	38 s
Andén 1 --> Liberación de F	T4 =	21 s
Tiempos de parada		
Est Andén 2	St1 =	40 s
Est Zona de retorno	St Ret =	10 s
Est Andén 1	St2 =	20 s
Tiempo técnico		
Perturbación de A y B	tt1 =	07 s
Cambio del ADV	tt2 =	10 s
Liberación de E y D	tt3 =	07 s
Márgenes		
Margen 1 =	M1 =	34 s
Margen 2 =	M2 =	58 s
Margen 3 =	M3 =	44 s

Tiempo de retorno en la terminal = 145 s

Figura 16. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Calle 72

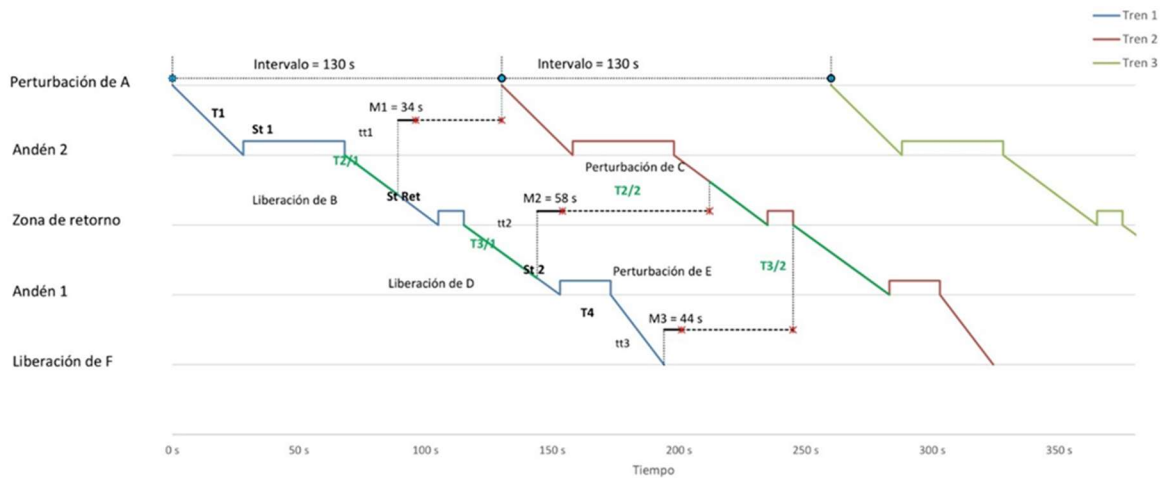


Figura 17. Estudio del intervalo de retorno para la terminal Calle 72 (visualización)

El resumen de los tiempos de retorno para cada una de las terminales se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 15. Resumen de los tiempos de retorno en las estaciones Fontanar y Calle 72 en 2042

Estaciones terminales	Tiempos de retorno (en s)
Fontanar	97
Calle 72	106

El intervalo mínimo de retorno en las terminales se puede calcular a partir de los márgenes. En el caso de la terminal Fontanar, el margen mínimo es el margen 3 (= 43 segundos), que se aplica en el movimiento de los trenes entre la zona de retorno y el andén de salida (andén 2). Es decir, en modo nominal, los dos trenes consecutivos con un intervalo de 130 s tienen 43 s de margen entre la salida del tren 1 del andén de salida y la llegada del tren 2 al mismo andén. Reduciendo este margen a 10 s, tenemos aún 97 s (= 130s - 43s + 10s) como el intervalo mínimo de retorno en la terminal Fontanar. De la misma manera, el intervalo mínimo de retorno en la terminal Calle 72 se puede calcular como 106 s (= 130s - 34s + 10s).

En conclusión, los intervalos mínimos de retorno en las terminales son menores al intervalo operacional previsto en 2042 (130 s), así que los intervalos operacionales son realizables.

4.2.1.7. Intervalo mínimo operacional

El intervalo mínimo operacional corresponde al mayor intervalo entre el intervalo mínimo práctico en línea y al intervalo mínimo de retorno. Además, el intervalo mínimo operacional debe incluir un margen. De no ser así, el menor incidente provocaría retrasos impactando la totalidad de la línea.

En este caso, el intervalo mínimo operacional se encuentra definido por el intervalo de retorno en terminal y corresponde a 106 segundos.

Tabla 16. Resumen intervalos mínimos

Intervalo mínimo	Tiempo (segundos)
En línea	85
Retorno en Fontanar	97
Retorno en Calle 72	106
Intervalo de servicio en 2042	130

Como se observa en la tabla, el sistema de transporte es capaz de responder a la demanda. En la puesta en servicio en 2032 entre Fontanar y Calle 72, el intervalo operacional entre trenes en horas pico, como se definió anteriormente, será de **130 segundos**.

4.2.1.8. Velocidad comercial y tiempo de vuelta redonda

El tiempo de vuelta redonda es la suma de:

- Los tiempos de recorrido entre cada estación, incluyendo el margen de regularidad;
- Los tiempos de estacionamiento;
- Los tiempos de retorno en las estaciones terminales.

El tiempo de recorrido entre las estaciones es el resultado de las simulaciones en RailSys. Esta simulación tiene en cuenta las características del material rodante y del trazado (perfil y curvas) de la línea.

Se añade un margen de regularidad de 5s/km al tiempo de recorrido inicial con el fin de calcular el tiempo de recorrido nominal. Esta reserva de tiempo representa la flexibilidad de la operación, permitiendo al sistema garantizar cierta regularidad.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones RailSys para la Línea 2 del Metro de Bogotá para el horizonte 2042 y para cada una de las vías. Los perfiles de velocidades de la L2MB respecto de la distancia están en el apéndice 6.6.

4.2.1.8.1. Vía 1: desde Calle 72 hasta Fontanar

Tabla 17. Tiempo de recorrido en el Sentido hacia Fontanar para el año 2032

Estación	Desde Calle 72 hasta Fontanar					
	Punto de parada (m)	Tiempo de estacionamiento (s)	Longitud del inter-estación (m)	Tiempo de recorrido sin reserva (s)	Reserva (s)	Tiempo de recorrido con reserva (s)
Est.1 - Calle 72	718					
			1545	99	8	107
Est.2 - NQS	2263	20				
			1756	107	9	116
Est.3 - CR68	4019	20				
			1449	94	7	101
Est.4 - Av. Boyacá	5468	20				
			930	72	5	77
Est.5 - Cali	6398	20				
			1213	85	6	91
Est.6 - CI 80	7611	20				
			1246	88	6	94
Est.7 - Cr 91	8857	20				
			1480	99	7	106
Est.8 - Humedal	10337	20				
			1645	102	8	110
Est.9 - ALO Sur	11982	20				
			1382	91	7	98
Est.10 - ALO Norte	13364	20				
			1718	111	9	120
Est.11 - Fontanar	15082					
TOTAL		03min00s				17min00s

4.2.1.8.2. Vía 2: desde Fontanar hacia Calle 72

Tabla 18. Tiempo de recorrido en el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 para el año 2032

Estación	Desde Fontanar hasta Calle 72					
	Punto de parada (m)	Tiempo de estacionamiento (s)	Longitud del inter-estación (m)	Tiempo de recorrido sin reserva (s)	Reserva (s)	Tiempo de recorrido con reserva (s)
Est.11 - Fontanar	14932					
			1718	109	9	118
Est.10 - ALO Norte	13214	20				
			1382	94	7	101
Est.9 - ALO Sur	11832	20				
			1645	102	8	110
Est.8 - Humedal	10187	20				
			1480	100	7	107
Est.7 - Cr 91	8707	20				
			1246	87	6	93
Est.6 - CI 80	7461	20				
			1213	86	6	92
Est.5 - Cali	6248	20				
			930	72	5	77
Est.4 - Av. Boyacá	5318	20				
			1451	94	7	101
Est.3 - CR68	3869	25				
			1756	107	9	116
Est.2 - NQS	2113	20				
			1545	101	8	109
Est.1 - Calle 72	568					
TOTAL		03min05s				17min04s

De esta forma, el tiempo de recorrido entre cabeceras para la vía 1 y la vía 2 resulta:

Tabla 19. Resumen del tiempo de recorrido para cada sentido para el año 2042

	Vía 1	Vía 2
	I=130s	I=130s
Tiempo de inter-estación entre terminales	17min00s	17min04s
Tiempo de estacionamiento entre terminales	03min00s	03min05s
Tiempo de recorrido entre terminales	20min00s	20min09s

Con estos valores, se determina la velocidad comercial por sentido. La velocidad comercial es la relación entre la distancia entre terminales y el tiempo de recorrido de una terminal a la otra, incluyendo la reserva y los tiempos de estacionamiento.

Tabla 20. Desempeño de la L2MB para el año 2042

Misión		Vía 1	Vía 2
		I=130s	I=130s
Fontanar – Calle 72	Distancia entre terminales (m)	14 364	
	Tiempo entre terminales	20min00s	20min09s
	Velocidad Comercial (km/h)	43,09	42,77

Finalmente, se obtiene el tiempo de vuelta redonda como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21. TVR de la L2MB para el año 2042

Misión		I = 130s
Fontanar – Calle 72	Tiempo de retorno en Fontanar	02min05s
	Tiempo total entre cabeceras, vía 1	20min00s
	Tiempo de retorno en Calle 72	02min25s
	Tiempo total entre cabeceras, vía 2	20min09s
	Tiempo de Vuelta Redonda (TVR)	44min39s

4.2.1.9. Cálculo del número de trenes requeridos

La cantidad de trenes en circulación se obtiene de la relación entre el tiempo de vuelta redonda (TVR) y el intervalo. Finalmente, para la cantidad de trenes de mantenimiento, se adopta un 15% de los trenes en circulación (que permanecen inmovilizados) y un tren de reserva que se podrá inyectar en la red en el caso de un tren averiado.

Tabla 22. Dimensionamiento de la flota para el año 2042

Intervalo	130s
Tiempo de Vuelta Redonda	44min39s
Trenes en operación	21
Trenes en mantenimiento	3
Trenes de reserva	1
Trenes totales	25

El tiempo extra en terminales es el tiempo excedente de cada misión debido al redondeo necesario en el dimensionamiento de la flota. Se calcula como:

$$T_{\text{extra}} = (N \cdot I) - T$$

Ecuación 4. Tiempo de vuelta en terminales

Con N: trenes en operación, I: intervalo operacional, T: TVR

Este tiempo se distribuye entre las terminales, como tiempo de sobre estacionamiento. No es necesario que la repartición sea igual en las dos terminales.

$$T_{\text{extra}} = 21 \cdot 130s - 44\text{min}39s = 51s$$

Este tiempo será distribuido entre las terminales Fontanar y Calle 72.

4.2.2. Análisis de sensibilidad

En esta parte, se desarrollan análisis de sensibilidad de diferentes intervalos sobre el desempeño de la línea.

4.2.2.1. Capacidad máxima de la línea

La capacidad máxima de la línea se calcula teniendo en cuenta el menor intervalo permitido por el sistema (121 segundos) y la capacidad del tren. Para simplificación, se toma el valor de 120 s.

Además, para analizar el impacto de diferentes intervalos en la capacidad máxima de la línea, tomamos los valores de 120 s, 130 s y 140 s, que corresponden a +/- 10 s del intervalo propuesto para la L2MB (130 s), más el intervalo mínimo definido de 106 s, como el Intervalo mínimo práctico en línea de 85 s. En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos para los diferentes intervalos.

Capacidad del tren	Intervalo 85 s	Intervalo 106 s	Intervalo 120 s	Intervalo 130 s	Intervalo 140 s
1800 pasajeros	76.235 pasajeros	61.132 pasajeros	54 000 pasajeros	49 846 pasajeros	46 286 pasajeros

Tabla 23. Capacidad máxima de la línea para tres intervalos distintas

Bajo las hipótesis tomadas, la capacidad máxima de la línea está alrededor de 76.235 pasajeros por hora. Es decir, reduciendo el intervalo hacia 85 s, la línea puede transportar hasta 76.235 pphpd, en el caso que la demanda aumente más de lo previsto por el estudio de demanda.

Cabe precisar que los valores mencionados en la tabla anterior corresponden con la capacidad teórica asociada a varios intervalos, permitiendo recalcar que el intervalo propuesto (130s) tiene una capacidad superior a la demanda (49 846 > 49 709).

4.2.2.2. Tamaño de la flota y kilometraje anual

Cambiar el intervalo corresponde con ajustar el número de trenes necesario para la operación, resultando en una evolución del kilometraje anual de la línea.

Para observar las variaciones, se desarrolla un análisis con tres valores de intervalos (120, 130 y 140 s) y los horarios correspondientes (la frecuencia en las horas pico se ha cambiado). En la tabla siguiente se presenta los resultados obtenidos:

Tabla 24. Kilometraje anual y tamaño de flota de material rodante para varias hipótesis de intervalos

Kilometraje anual			
	Intervalo 120 s	Intervalo 130 s	Intervalo 140 s
Tamaño de la flota (15% en mantenimiento, 1 tren en reserva)	27	25	24
Kilometraje total anual (tren.km/año)	2 993 107	2 887 110	2 798 287

4.2.2.3. Evolución del servicio en el período de análisis del proyecto

En la tabla siguiente se expone cómo la demanda de diseño (2042) requiere un intervalo de 130". Para los cortes temporales 2032 y 2052, las cargas máximas son 6% menores respectivamente. El intervalo adoptado con redondeo a 5" podría ser de 130" o 135". Los niveles de confort asociados a estas dos definiciones posibles resultan en valores comprendidos entre 5,9 y 5,6 pas/m², es decir con una variación entre extremos de 5%.

Siendo que la variación es muy pequeña entre cada uno de los escenarios, se ha adoptado el temperamento de mantener el intervalo constante y mejorar el nivel de confort en el corto plazo (2032) y en el largo plazo (2052).

Tabla 26. Intervalos para satisfacer la demanda de cada uno de los escenarios

Año	Demanda			Oferta			Confort (pas/ m ²)
	PPHPD máxima	Número de trenes /h	Intervalo teórico (s)	Intervalo adoptado (s)	Capacidad (pas/h-dir)	Número de trenes /h (tph)	
2032	46 498	25,8	139,4	130 o 135	48.000 o 49.846	26,6 o 27,7	5,8 o 5,6
2042	49 709	27,6	130,4	130	49 846	27,7	5,9
2052	46 957	26,1	138,0	130 o 135	48.000 o 49.846	26,6 o 27,7	5,9 o 5,7

5. MODOS DE OPERACIÓN

5.1. MODO NOMINAL

En operación normal de la línea, los trenes circulan en modo UTO, entre las estaciones terminales, por la derecha, en vías separadas y deteniéndose en todas las estaciones.

- Vía 1: desde la estación terminal Calle 72 (Estación 1) hasta la estación terminal Fontanar (Estación 11)
- Vía 2: desde la estación terminal Fontanar (Estación 11) hasta la estación terminal Calle 72 (Estación 1)

Los trenes realizan la maniobra de retorno en cada estación terminal. Todos los pasajeros descienden en el andén de llegada y suben al tren en el andén de salida.

5.2. MODO DEGRADADO

Cuando la línea se encuentra con una incidencia, por ejemplo, una falla de un material rodante, no se puede operar la parte correspondiente de la línea. Para resolver la incidencia y restablecer así la operación normal de la línea, se deberá tomar acciones de respuesta.

Las perturbaciones mayores necesitarán acciones o intervenciones.

Servicios provisorios

Cuando una parte de las vías de circulación se encuentre inutilizable, la L2MB operará en modo degradado mediante servicios provisorios: una o dos partes de la línea se operan independientemente y los trenes cambian de vía y de sentido en las estaciones intermedias equipadas de aparatos de vía.

Para cada una parte de la línea en operación, un procedimiento de regulación se pone en funcionamiento para asegurar un intervalo constante.

La tabla siguiente muestra los servicios provisorios que deben ser implementados en función de la ubicación del incidente:

Tabla 25. Ubicación del incidente y sus consecuencias sobre la operación

Incidente	Servicio provisorio	
	Lado sur del incidente	Lado norte del incidente
En Estación 1		Est 2 - Est 11
En Estación 2		Est 5 - Est 11
Entre Estaciones 3 y 4	Est 1 - Est 2	Est 5 - Est 11
En Estación 5	Est 1 - Est 2	Est 7 - Est 11
En Estación 6	Est 1 - Est 5	Est 7 - Est 11
En Estación 7	Est 1 - Est 5	Est 9 - Est 11
En Estación 8	Est 1 - Est 7	Est 9 - Est 11
En Estación 9	Est 1 - Est 7	
Entre Estaciones 10 y 11	Est 1 - Est 9	

6. APÉNDICES

6.1. UBICACIÓN DE LOS APARATOS DE VÍA

La ubicación de los aparatos de vía (ADV) se ha determinado de manera que el número de pasajeros impactados en caso de incidencia sea minimizado. Para la identificación, se han adoptado las siguientes hipótesis:

- Los ADVs se ubicarán en las estaciones intermedias (Est 2 – Est 10), y las terminales tienen ya unos ADVs.
- La incidencia ocurre únicamente en las estaciones.
- La probabilidad de una incidencia es igual para todas las estaciones: la probabilidad sigue una distribución uniforme.
- Con una incidencia en una estación, el resto de la línea continuará operando mediante los ADVs en la proximidad.
- La ubicación del ADV antes o detrás de una estación no impacta la operación.
- Se adopta una matriz OD real reconstituida a partir de los números de subidas y de bajadas en cada estación y en cada sentido.
- La evaluación se hace con el número de pasajeros no impactados: la minimización del impacto en términos de número de pasajeros

Con 4 ADVs intermedios (e.g., los estudios de prefactibilidad de Egis-Steer), la minimización del impacto se alcanzó en la configuración siguiente: ADVs en las estaciones 2, 5, 7 y 9.

- Esta configuración permite transportar 49% más de pasajeros que la peor configuración (3, 4, 5, 6).
- Esta permite transportar 12% más de pasajeros que la configuración propuesta en los estudios de prefactibilidad (2, 4, 6, 8).

6.2. POSICIÓN DE LOS APARATOS DE VÍAS EN ESTACIONES DE RETORNO

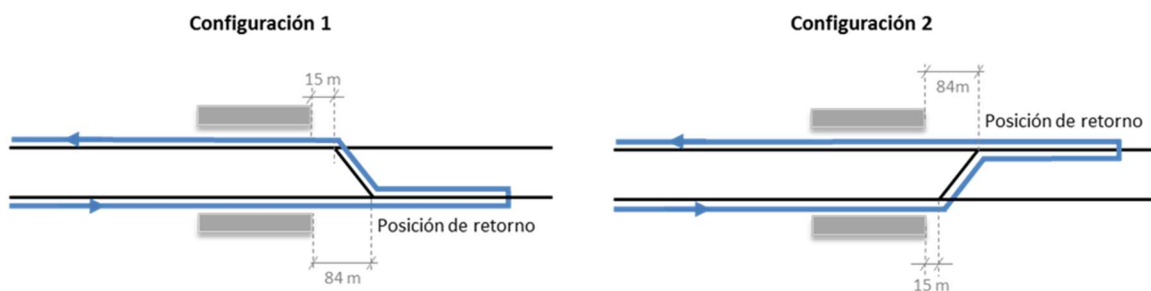


Figura 18. Configuraciones de retorno detrás de las estaciones

La elección entre una u otra puede verse influenciada por diversas variables, sin embargo, ante un deslizamiento del tren, las consecuencias no serán las mismas. En efecto, si un tren no se detiene en la posición de parada prevista, este seguirá avanzando algunos metros hasta que se accione el freno de emergencia. Dependiendo la configuración elegida, distintos escenarios pueden presentarse:

- Configuración 1 (ADV tomado por el talón):
 - Probablemente el tren nunca alcance el aparato de vía;
 - Si alcanza el aparato de vía, el tren no descarrila porque este es tomado por el talón.
- Configuración 2 (ADV tomado por la punta):
 - Si el aparato de vía está enclavado en posición desviada, existe riesgo de choque con un tren que se dirige desde la posición de retorno hacia el andén de salida;
 - Si el aparato de vía no está enclavado, el tren podría descarrilar.

Como se observa, el operador deberá priorizar, siempre que sea posible, la configuración 1 ya que presenta menores riesgos en caso de deslizamiento del tren. En caso contrario, disposiciones particulares deberán adoptarse para evitar los riesgos anteriormente descritos.

6.3. DISPOSICIÓN DE LAS PUERTAS

El diagrama de puertas utilizado en este estudio contempla 4 puertas por coche, con ancho de puerta de aproximadamente 1.60 metros, con el fin de permitir el pasaje de dos personas simultáneamente. Los coches utilizados poseen una longitud aproximada de 20 metros.

Se considera que pueden circular 40 personas por minuto y por fila de puerta, o sea 80 personas por minuto y por puerta. El tiempo técnico de apertura y cierre de puerta es de 5 segundos.

Con esta disposición, **el tiempo máximo de estacionamiento para el año 2042 se produce en la estación 3 CR68 y es de 25s** (ver 4.2.1.4).

6.4. FLUJO DE PASAJEROS

Se presentan a continuación el flujo de pasajeros para cada uno de los escenarios y para cada sentido.

6.4.1. Horizonte 2032

6.4.1.1. Sentido hacia Fontanar

Estación	Ascensos	Descensos	Carga
1-Calle 72	9.229	0	9.229
2 - NQS	760	472	9.517
3 - Av. 68	1.674	2.560	8.631
4 - Av. Boyacá	477	2.324	6.785
5 - Av. Cali	570	1.822	5.533
6 - Calle 80	4.948	687	9.793
7 - Carrera 91	405	1.129	9.069
8 - Humedal	115	1.432	7.752
9 - ALO Sur	94	2.345	5.501
10 - ALO Norte	1	3.915	1.587
11 - Fontanar	0	1.587	0
Total	18.273	18.273	

Tabla 27. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2032)

6.4.1.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72

Estación	Ascensos	Descensos	Carga
1-Calle 72	0	31.765	0
2 - NQS	266	7.211	31.765
3 - Av. 68	1.976	9.765	38.709
4 - Av. Boyacá	2.237	1.185	46.498
5 - Av. Cali	4.472	915	45.447
6 - Calle 80	4.466	4.001	41.889
7 - Carrera 91	9.216	226	41.424
8 - Humedal	4.067	9	32.433
9 - ALO Sur	10.542	26	28.375
10 - ALO Norte	12.365	143	17.859
11 - Fontanar	5.637	0	5.637
Total	55.244	55.246	

Tabla 28. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 (2032)

6.4.2. Horizonte 2042

6.4.2.1. Sentido hacia Fontanar

Estación	Ascensos	Descensos	Carga
1-Calle 72	11.989	0	11.989
2 - NQS	584	491	12.082
3 - Av. 68	1.877	3.304	10.656
4 - Av. Boyacá	507	2.478	8.685
5 - Av. Cali	538	2.191	7.032
6 - Calle 80	5.418	1.741	10.709
7 - Carrera 91	430	1.281	9.858
8 - Humedal	115	1.540	8.434
9 - ALO Sur	87	2.486	6.035
10 - ALO Norte	1	4.301	1.735
11 - Fontanar	0	1.735	0
Total	21.546	21.548	

Tabla 29. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2042)

6.4.2.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72

Estación	Ascensos	Descensos	Carga
1-Calle 72	0	35.687	0
2 - NQS	303	6.919	35.687
3 - Av. 68	2.393	9.798	42.304
4 - Av. Boyacá	2.589	1.263	49.709
5 - Av. Cali	5.088	989	48.383
6 - Calle 80	4.886	5.154	44.285
7 - Carrera 91	10.181	243	44.552
8 - Humedal	4.497	12	34.614
9 - ALO Sur	11.082	26	30.128
10 - ALO Norte	12.972	143	19.072
11 - Fontanar	6.243	0	6.243
Total	60.234	60.234	

Tabla 30. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 (2042)

6.4.3. Horizonte 2052

6.4.3.1. Sentido hacia Fontanar

Estación	Ascensos	Descensos	Carga
1-Calle 72	7.312	0	7.312
2 - NQS	797	436	7.673
3 - Av. 68	1.685	2.381	6.977
4 - Av. Boyacá	2.555	2.001	7.531
5 - Av. Cali	266	1.260	6.537
6 - Calle 80	5.041	942	10.637
7 - Carrera 91	429	1.495	9.571
8 - Humedal	121	1.589	8.103
9 - ALO Sur	103	2.240	5.966
10 - ALO Norte	1	4.067	1.900
11 - Fontanar	0	1.900	0
Total	18.310	18.311	

Tabla 31. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Fontanar (2052)

6.4.3.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72

Estación	Ascensos	Descensos	Carga
1-Calle 72	0	34.621	0
2 - NQS	301	6.824	34.621
3 - Av. 68	2.171	7.985	41.144
4 - Av. Boyacá	6.048	4.881	46.957
5 - Av. Cali	2.256	696	45.790
6 - Calle 80	5.131	3.711	44.231
7 - Carrera 91	9.672	189	42.810
8 - Humedal	4.269	9	33.327
9 - ALO Sur	11.218	26	29.067
10 - ALO Norte	11.595	143	17.875
11 - Fontanar	6.423	0	6.423
Total	59.084	59.085	

Tabla 32. Número de pasajeros en la hora pico de la mañana y ocupación de los trenes en cada interestación para el Sentido hacia Est.1 - Calle 72 (2052)

6.5. INSERCIÓN Y RETIRADA DE LOS TRENES

A continuación, se muestra el número de trenes presente en la línea en cada franja horaria. Al cambio de intervalo en un día, se insertan y retiran los trenes.

Tabla 33. Número de trenes presente en la línea

	Laboral (lunes a viernes)	Sábados	Domingos y festivos
05h30-06h00	6	6	0
06h00-06h30	9	9	0
06h30-07h	21	21	6
07h-08h	21	21	6
08h-09h	21	21	6
09h-10h	9	9	9
10h-11h	9	9	9
11h-12h	9	9	9
12h-13h	12	9	9
13h-14h	12	9	9
14h-15h	9	9	9
15h-16h	9	9	9
16h-17h	9	9	9
17h-18h	21	9	9
18h-19h	21	9	9
19h-20h	21	9	9
20h-21h	9	9	9
21h-22h	6	6	6
22h-23h	6	6	0
23h-24h	0	0	0

6.6. LISTA PRELIMINAR DE LAS TAREAS DE UNA LÍNEA UTO

Parte de las tareas descritas a continuación son similares a las de una línea clásica, y otras son propias de una línea UTO (éstas últimas se indican con fondo verde). Man. = mantenimiento

Tabla 34. Lista preliminar de las tareas de una línea UTO

Actividades				
Relación cliente	Man.	Dirección	Estación	CCO
Comunicación				
Respuesta a las llamadas en estación			x	x
Respuesta a las llamadas en el tren				x
Información al usuario en estación (sonorización, actualización de las pantallas)				x
Información al usuario en el tren (sonorización, actualización de las pantallas)				x
Acogida e información de los pasajeros en la estación			x	
Gestión de los flujos de pasajeros				
Canalización e información de los pasajeros en estación (flujo anormalmente importante, incidente, etc.)			x	x
Organización de la evacuación (sonorización, presencia en el terreno (estación y tren))			x	x
Comunicación interna con las otras líneas en situación degradada (CCO, estaciones, etc.)			x	x
Acompañamiento de las personas a movilidad reducida			x	
Comercial				
Servicio por venta en estación			x	
Venta			x	
Control de los billetes			x	
Presencia a las líneas de control (disuasión y asistencia)			x	

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Actividades				
Relación cliente	Man.	Dirección	Estación	CCO
Contabilidad. gestión de las existencias (dinero en las máquinas de ventas de pasajes. etc.)			x	
Gestión de los objetos perdidos			x	
Seguridad pública				
Intervención de los equipos especializados in situ			x	
Prevención - presencia in situ - evitar " indeseables"			x	
Prevención - vigilancia por cámara del terreno (estaciones. trenes)			x	x
Vigilancia de los flujos de pasajeros para adaptar la oferta de transporte				x
Gestión de los micrófonos a bordo de los trenes				x
Práctica de primeros auxilios. transporte de las personas en los hospitales. etc.			x	
Apertura / cierre estación			x	x

Movimiento de los trenes	Man.	Dirección	Estación	CCO
Gestión remota				
Gestión de los trenes en las cocheras (inicialización. garaje. inyección. retirada. lavado)				x
Gestión de los trenes en la vía principal (supervisión. regulación. inyección. servicios provisorios)				x
Gestión de la interfaz con el mantenimiento del Material Rodante (intercambio. prueba. prioridad de circulación. procedimientos en la zona de transferencia. etc.)				x
Gestión de los accesos a la vía (zonas protegidas)				x
Vigilancia y gestión de las alarmas sistemas				x
Gestión de la interfaz con el mantenimiento de los sistemas (fuera del MR). Despacho. seguimiento y organización de las intervenciones. reanudación de la operación				x

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Movimiento de los trenes	Man.	Dirección	Estación	CCO
Gestión de la circulación de los trenes especiales (trenes de obras. tren para mantenimiento. etc.)				x
Gestión de los incidentes				x
Vigilancia vídeo del movimiento de los trenes (Aparato de vía. detrás estación. maniobra de inversión)				x
Seguimiento explotación (informes. análisis de las pérdidas de producción. de los incidentes)				x
Gestión in situ				
Verificar el buen funcionamiento de las instalaciones transporte (PDA. Señalización local. etc.)			x	x
Verificación del buen funcionamiento al cotidiano del tren (mantenimiento de nivel " 1")			x	
Verificación de la limpieza de los trenes			x	
Manipulación de los equipamientos transporte in situ (Aparatos de Vías. aparatos de tracción. herramientas de señalización deteriorada. etc.)	x			
Intervención en las puertas de andén			x	
Conducción del tren en modo manual entre la zona automática y en el taller	x			
Conducción del tren en modo manual en la zona automática			x	
Reparación del tren en la vía principal	x		x	

Gestión de las infraestructuras. de los sistemas y de los trenes	Man.	Dirección	Estación	CCO
Gestión de la energía eléctrica				
Gestión de la energía eléctrica (distribución. relación con el proveedor en caso de modo degradado)				x
Gestión de la energía tracción				x
Gestión del suministro de la energía eléctrica en las instalaciones				x
Gestión de la seguridad incendio				
Supervisión de los equipos contra incendio			x	x

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Gestión de las infraestructuras. de los sistemas y de los trenes	Man.	Dirección	Estación	CCO
Mando de los equipos contra incendio			x	
Instalaciones fijas en estación				
Intervención de mantenimiento nivel " 1" (equipos requerimientos cliente: inspección de la estación)			x	
Verificación del buen funcionamiento de las instalaciones en estación (pruebas. etc.)			x	
Verificación de la limpieza de las estaciones			x	
Intervención de mantenimiento nivel "2-3-4"	x			
Vigilancia de los equipos estación (gestión de las alarmas técnicas: escaleras mecánicas. ascensores. cámaras. iluminación. equipos contra incendio. equipos de venta de pasajes. rejas de acceso. etc.)			x	x
Interfaz de operación y mantenimiento de los equipos en estación (escaleras mecánicas. ascensores. cámaras. etc.)			x	x
Gestión de los accesos a los locales técnicos y de operación			x	
Sistemas transporte				
Mantenimiento nivel 2-3-4	x			
Material rodante				
Verificación de la limpieza del tren			x	
Organización de la limpieza de los trenes (paso a lavado. participación del prestador de servicios. posicionamiento del parque sobre zona de lavado. etc.)				x
Intervención de mantenimiento del material rodante nivel" 2-3-4"				x

Gestión/coordinación del personal	Man.	Dirección	Estación	CCO
Gestión de los equipos				
Organización de la actividad transporte				x
Organización de la actividad estación (briefing. debriefing. etc.)			x	
Organización de la actividad del mantenimiento MR	x			

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Gestión/coordinación del personal	Man.	Dirección	Estación	CCO
Organización de la actividad del mantenimiento de las instalaciones fijas	x			
Organización de la actividad del mantenimiento de los sistemas	x			
Responsable in situ				
Gestión del personal de operación			x	x
Gestión de personal de vigilancia			x	
Gestión de los prestadores de servicios (limpieza. seguridad. etc.)				x
Gestión de los equipos de mantenimiento in situ	x			
Coordinación de las intervenciones in situ (puestos centralizados)				
Seguridad pública - organización de las intervenciones in situ			x	x
Gestión de los equipos de explotación in situ (coordinación. localización)				x
Coordinación de las estaciones en caso de incidentes in situ			x	
Coordinación del transporte en caso de incidentes in situ				x

Capacitación inicial y actualización de los conocimientos	Man.	Dirección	Estación	CCO
Capacitación de conducción			x	
Capacitación de reparación del tren (puertas. etc.)	x		x	
Capacitación de gestión de incendio			x	x
Capacitación de las puertas de andén			x	
Capacitación relación cliente			x	x
Capacitación equipo transporte in situ				x
Capacitación CCO				x
Capacitación de mantenimiento	x			

Funciones de apoyo	Man.	Dirección	Estación	CCO
--------------------	------	-----------	----------	-----

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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD

Apoyo administrativo y planificación personal de los agentes		x		x
Realización de los estudios y proyectos técnicos		x		x
Gestión de los subcontratistas internos/externos		x		
Prevención y protección		x		
Recursos humanos		x		
Control de gestión		x		
Comunicación interna y externa		x		

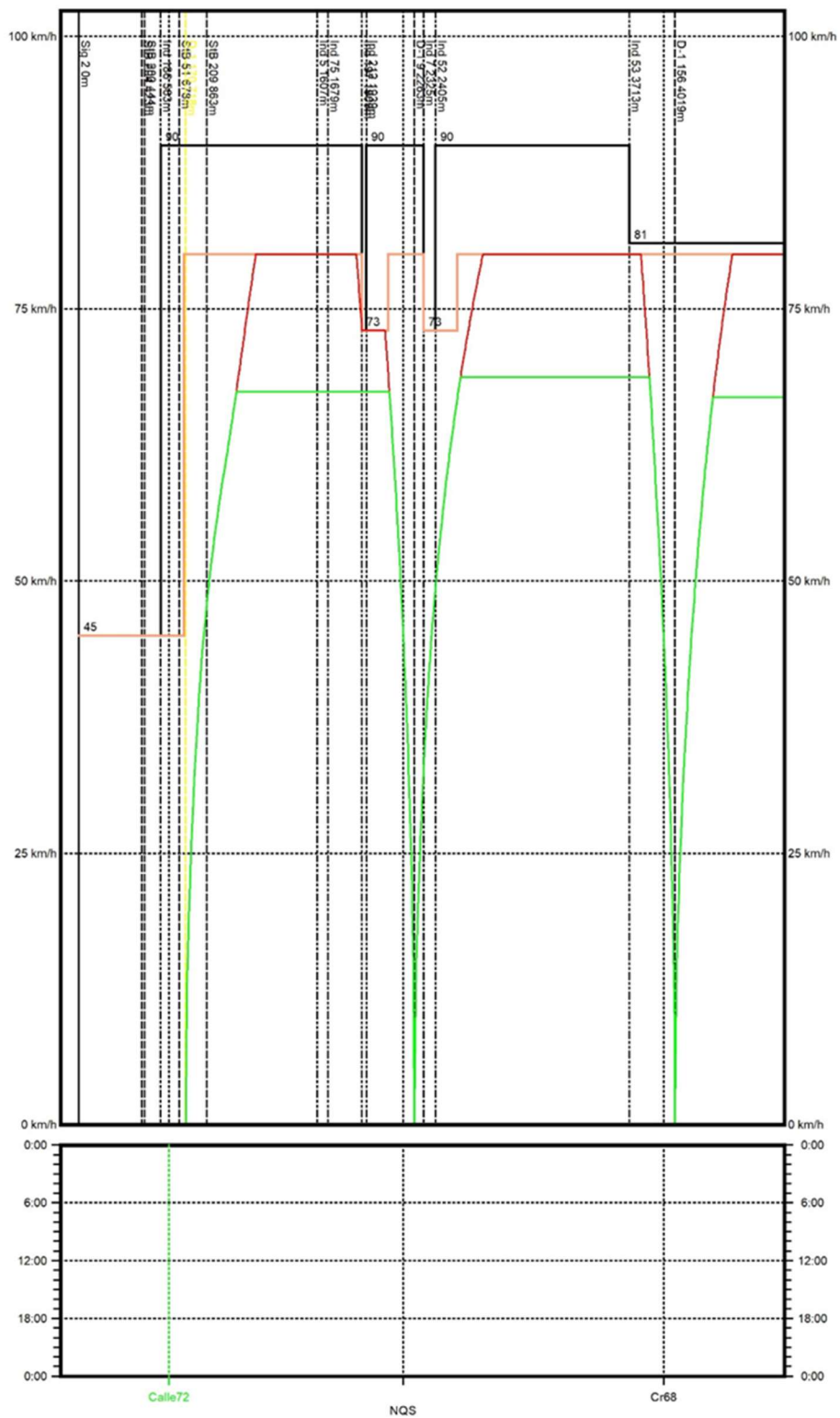
6.7. PERFILES DE VELOCIDAD DE LA L2MB

A continuación, se presentan los perfiles de velocidad, obtenidos mediante las simulaciones RailSys, para cada sentido y tramo de la línea.

6.7.1. Sentido hacia Fontanar

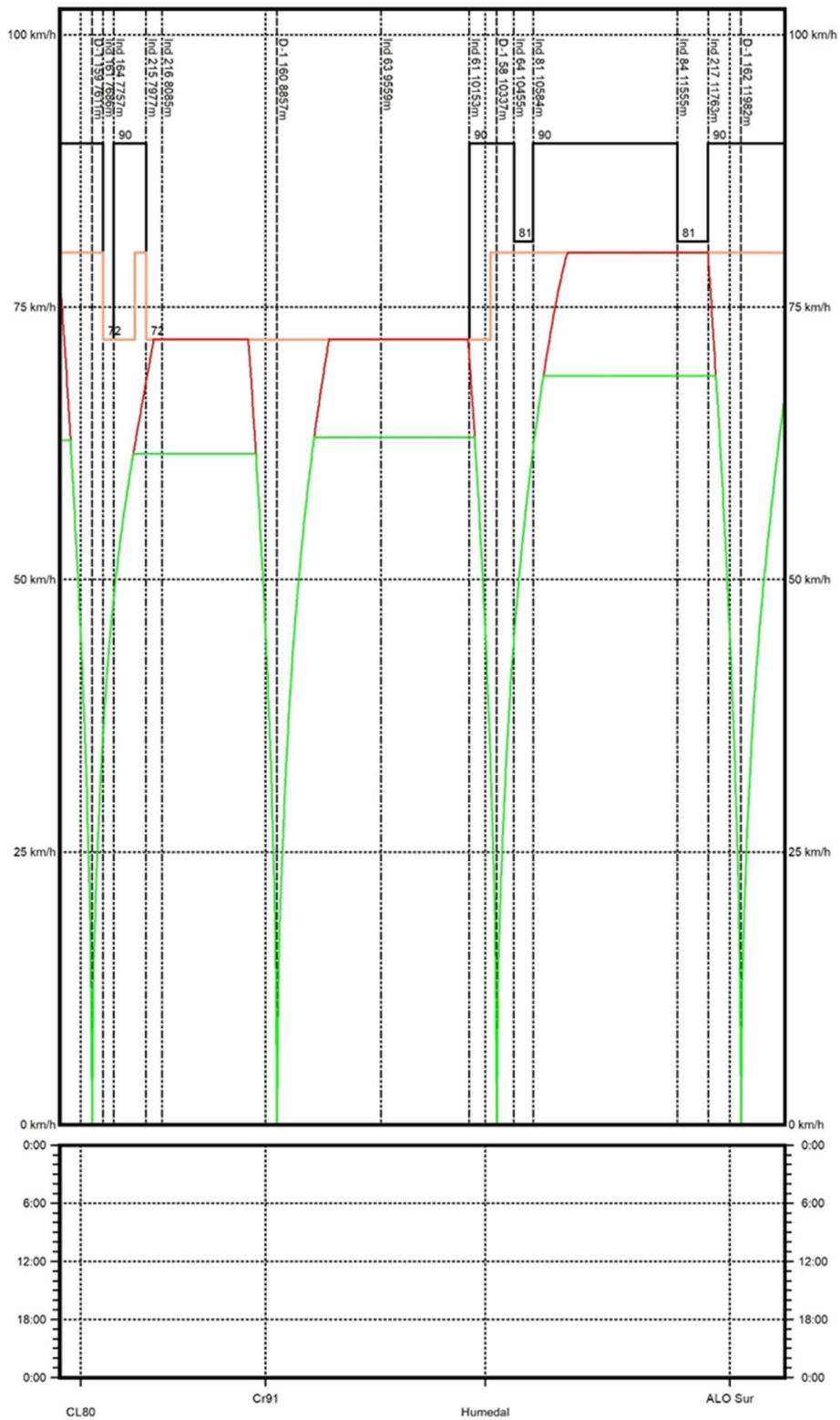
REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD



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

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD



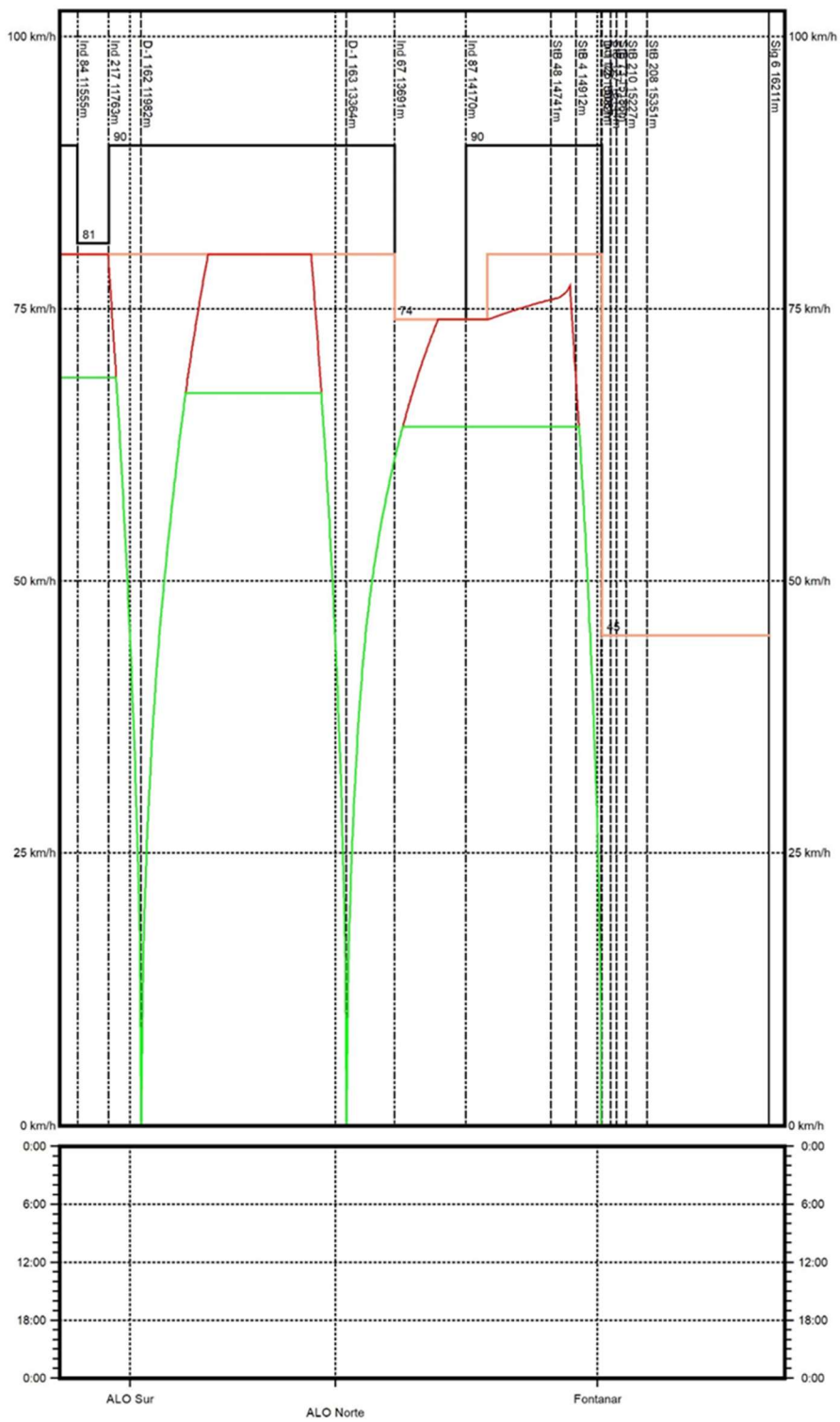
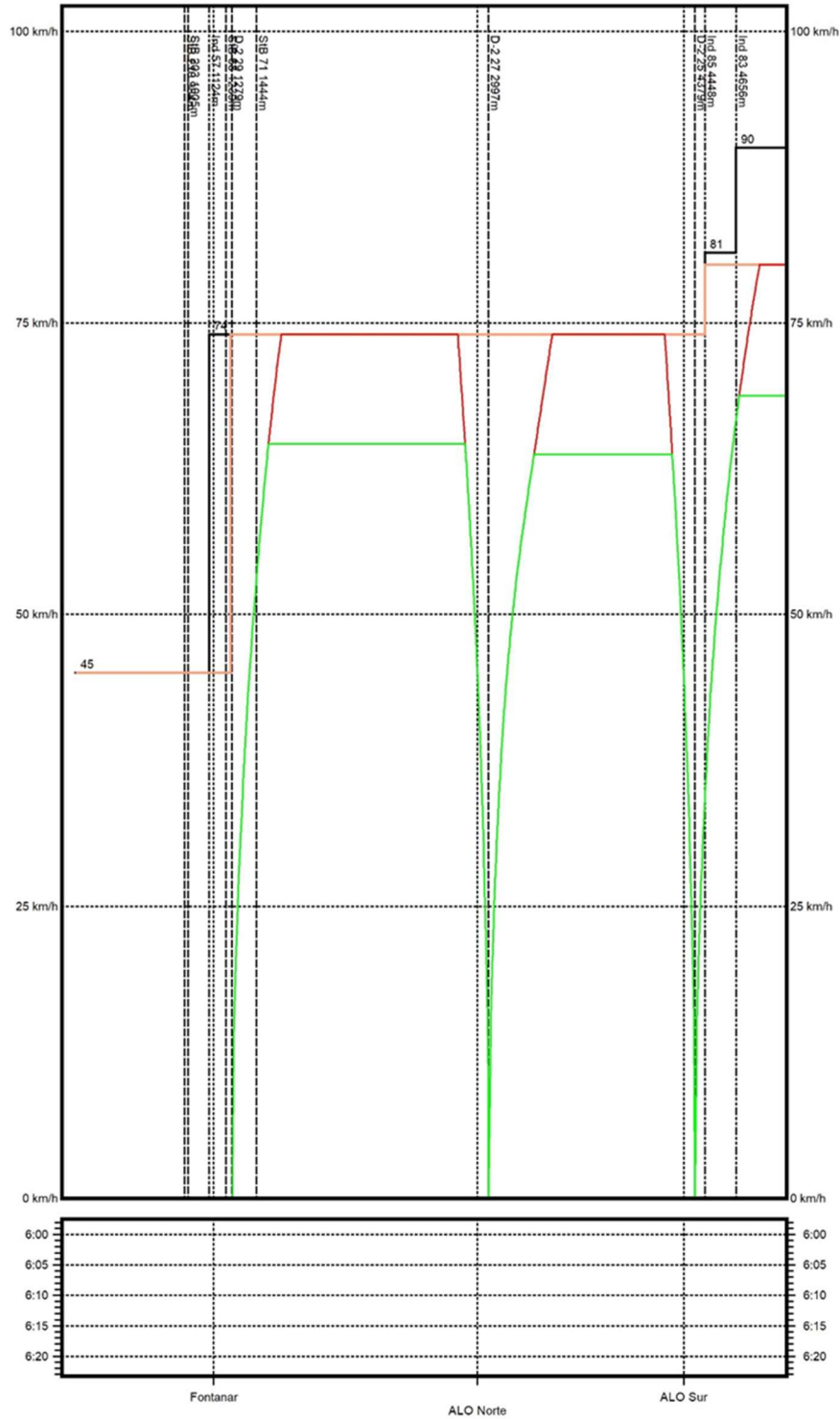


Figura 29. Gráfico de velocidades. Sentido hacia Fontanar

6.7.2. Sentido hacia Est.1 - Calle 72



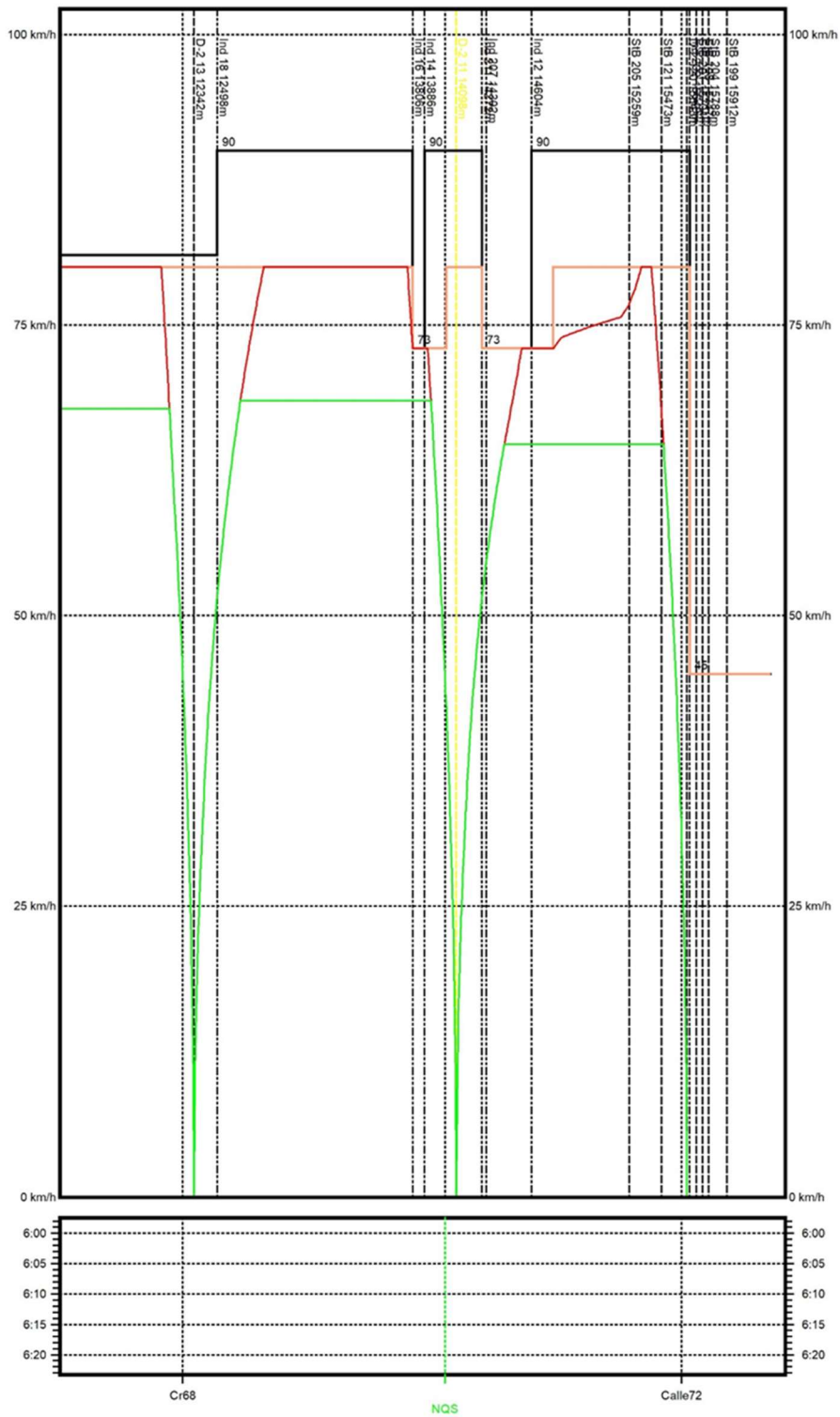


Figura 19. Gráfico de velocidades. Sentido hacia Est.1 - Calle 72

7. COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE TRANSPORTE

Con la implementación del proyecto L2MB dentro del SITP se generará una redistribución de flujos de viajes desde otros modos hacia el modo metro. El efecto principal de esto se evidencia en las dinámicas de viajes de la hora pico de la mañana en el sentido de viaje más cargado del área de influencia, que en este caso corresponde a los viajes norte-sur (N-S) en la zona de Suba y occidente- oriente (W-E), en la zona de Engativá. A continuación, se presenta una análisis de la variación de los volúmenes de viajes en transporte público para los componentes troncal y zonal.

Carga Máxima (pphps):

Metro L2: Se tomó la carga máxima de la línea en hora pico definida en *Escenario de diseño* del estudio de demanda.

Componente Troncal del SITP: Se reportan los datos de cargas máximas de estas troncales modelados en el escenario base del modelo de transporte (2019) y los modelados a 2032 con y sin proyecto L2MB.

Tabla 35 Cargas máximas componente troncal en el área de influencia (Hora pico)

TRONCAL	Modelados 2019	Modelado 2032 Sin proyecto	Modelado 2032 Con proyecto	Dif (2032)
SUBA	28.416	37.023	17.807	-19.216
CALLE 80	43.679	35.482	22.255	-13.227
L2MB	(-)	0	49.709	49.709

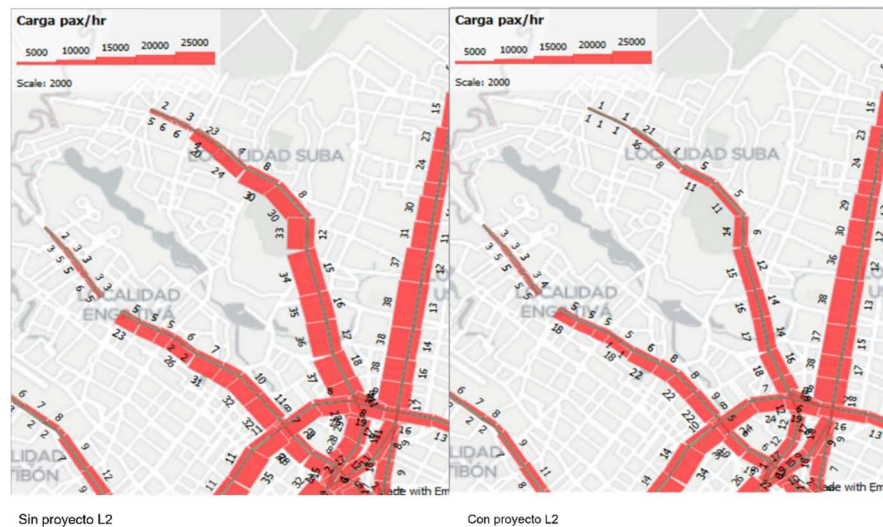


Figura 20 Carga en miles componente troncal área de influencia. Corte temporal 2032 Sin proyecto – Con proyecto

Desde el punto de vista cargas en las dos troncales del área de influencia se evidencia principalmente una disminución en el volumen de pasajeros transportados en el sentido más cargado en la hora pico de la mañana (sentido Suba – Engativá-Chapinero) que se trasladarían a la Línea 2, debido a la reducción en el tiempo de viaje de este nuevo modo. De todas formas, las troncales Suba y Calle 80 mantienen una carga significativa que debe seguir siendo atendida por los operadores de estas troncales. Los ajustes efectivos a esta operación y su impacto en los costos del sistema son

analizados en detalle en el documento Requisito F. identificación de fuentes de pago para alimentar el Fondo de Estabilidad Tarifaria, en el cual, a nivel sistema se presenta un análisis de la distribución de demanda y requerimientos de kilómetros, en el marco de la estructura y contratos de operación y provisión del SITP:

Componente Zonal SITP: Se reportan los datos de cargas máximas de estos corredores modelados en el escenario base del modelo de transporte (2019) y los modelados a 2032 con y sin proyecto L2MB.

Tabla 36: Cargas máximas componente zonal en el área de influencia (hora pico)

CORREDOR	SENTIDO	MODELADOS 2019	MODELADO 2032 SIN PROYECTO	MODELADO 2032 CON PROYECTO	Dif (2032)
CALLE 72	W-E	7.458	5.232	3.813	-1.419
CALLE 72	E-W	6.134	4.862	3.597	-1.265
AV CALI	N-S	8.064	5.372	2.077	-3.295
AV CALI	S-N	5.144	4.278	1.243	-3.035
CARRERA 91	S-N	2.874	5.963	3.499	-2.464
AV SUBA	W-E	4.627	7.445	5.796	-1.649
AV SUBA	E-W	2.789	3.709	3.715	6
CALLE 132	W-E	3.296	4.653	2.703	-1.950
CALLE 139	W-E	2.621	3.963	2.712	-1.251
Total	W-E (N-S)	26.066	26.655	17.101	-9.564
Total	E-W (S-N)	14.067	18.812	12.054	-6.758

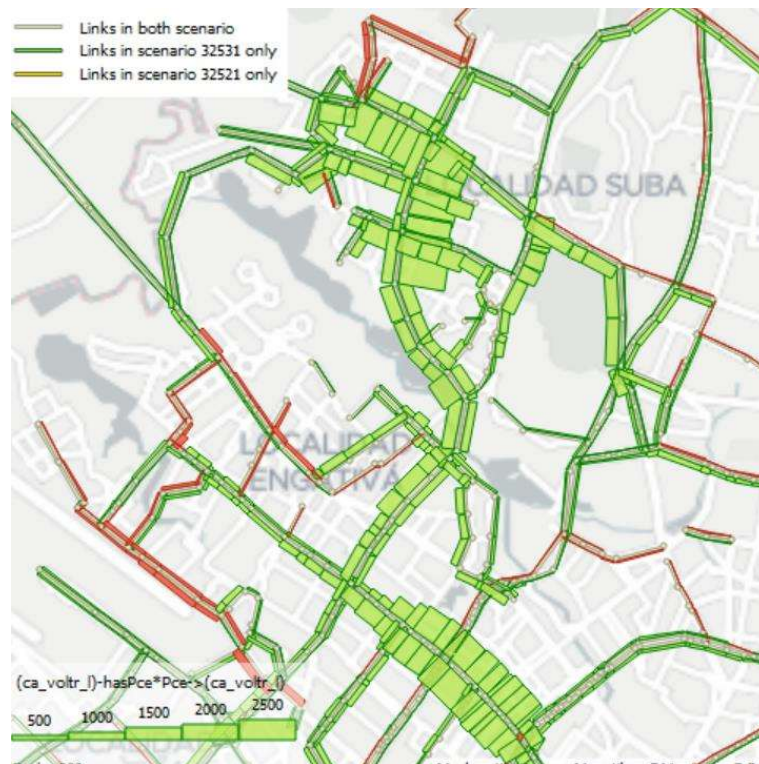


Figura 21. Cargas máximas componente zonal en el área de influencia (hora pico)

Con la entrada en operación del proyecto L2MB también se proyecta una disminución en la demanda de los corredores zonales del SITP en el área de influencia. En el año de entrada en operación del proyecto se reduciría en cerca de 9 500 abordajes la carga agregada de los servicios zonales en el sentido más cargado para la hora pico de la mañana, esto es W-E o N-S. Los corredores con mayor reducción de cargas son en orden: La Avenida Ciudad de Cali, la Calle 72, la Carrera 91, la Calle 132, la Calle 139 y la Avenida Suba. Los ajustes efectivos a esta operación y su impacto en los costos del sistema son analizados en detalle en el documento Requisito F. identificación de fuentes de pago para alimentar el Fondo de Estabilidad Tarifaria, en el cual, a nivel sistema se presenta un análisis de la distribución de demanda y requerimientos de kilómetros, en el marco de la estructura y contratos de operación y provisión del SITP:

Comparación con indicadores base de los modos actuales del SITP

Dado que la L2MB se estructuró como un servicio masivo de alta capacidad y eficiencia este permitirá transportar una gran cantidad de pasajeros en despachos de trenes de alta capacidad. Como ejercicio de comparación se presenta a continuación los indicadores de transporte del proyecto o servicio cuando esté en funcionamiento, con respecto a los indicadores de los modos actuales del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de la ciudad.

El ejercicio comparativo se realizó para la proyección de demanda y operación de la línea en el año 2042, donde se presenta la carga máxima de la línea en hora pico y para el modo troncal y zonal se toman los datos registrados por Transmilenio S.A en la operación antes del año 2020.

Índice de pasajeros por kilómetro (IPK):

Metro: Se estimó para el año 2042 con base las proyecciones de kilómetros comerciales y de demanda anual.

Componente Troncal y Zonal SITP: Se estimó para el componente troncal y zonal como el promedio de los años 2016 a 2019 de los IPK promedio mensual de estos años. El IPK mensual de cada año se calcula a partir de las validaciones mensuales por componente y el total de kilómetros recorridos en el mes por la flota de cada componente del SITP.

Fuente: Reporte TMSA 2022

Índice de pasajeros por vehículo (IPV):

Metro: Se estimó con base en la proyección de abordajes diarios (2042) dividido por la flota total.

Componente Troncal y Zonal SITP: Se estimó para el componente troncal y zonal como el promedio de los años 2016 a 2019 de los IPV diarios. El IPV se calculó a partir de las validaciones mensuales por componente del SITP y el total de la flota.

Fuente: Reporte TMSA 2022

Índice de kilómetros por vehículo (IKV):

Metro: Se estimó con base en la proyección de kilómetros anuales (2042) dividido por la flota total.

Componente Troncal y Zonal SITP: Se estimó para el componente troncal y zonal como el promedio de los años 2016 a 2019 de los IKV promedio diarios. El IKV se calculó a partir del total de kilómetros recorridos en el mes dividido por la flota por componente del SITP.

Fuente: Reporte TMSA 2022

Capacidad por vehículo:

Metro: Según la configuración de trenes propuesta para un nivel de servicio de 6 pasajeros/m²

Componente Troncal y Zonal SITP: Se estimó para el componente troncal y zonal como el promedio ponderado entre la flota vinculada por tipología vehicular y la capacidad por tipología vehicular de cada componente del SITP.

Fuente: Reporte TMSA 2022

Tabla 37 Comparación de indicadores de transporte entre el proyecto y los modos actuales del SITP

Parámetro	Metro L2	Componente Troncal SITP	Componente Zonal SITP
Tipología Vehicular	Tren 7 vagones	Articulado/Biarticulado/Padrón dual	Microbus/Buseta/Bus/Padrón
IPK (pax/km)	69,07	4,48	1,42
IPV (pax/veh día)	24381	1221	275
IKV (km/veh día)	353	273	194