

## TABLA DE CONTENIDO

	1
2.2.2 PLAN DE OPERACIÓN PRELIMINAR	2
<b>2.2.2.1 Normativa aplicable</b>	<b>2</b>
<b>2.2.2.2 Revisión del estudio de prefactibilidad de la Línea 2 del Metro de Bogotá</b>	<b>2</b>
2.2.2.3 Análisis Beneficio Costo	21
2.2.2.4 Conclusiones	24
<b>2.2.2.5 Aspectos relevantes asociados a la Primera Línea de Metro de Bogotá</b>	<b>26</b>
2.2.2.5.1 Hipótesis de la demanda	26
2.2.2.5.2 Material rodante	26
2.2.2.5.3 Infraestructura	26
2.2.2.5.4 Operación	27
2.2.2.5.5. Conclusión	27
<b>2.2.2.6 Revisión de experiencias internacionales y aplicación al caso de la Línea 2 del Metro de Bogotá</b>	<b>28</b>
2.2.2.6.1 París, Línea 1 (Francia)	28
2.2.2.6.2 París, Línea 14 (Francia)	29
2.2.2.6.3 Santiago de Chile, Líneas 3 y 6 (Chile)	30
2.2.2.6.4 São Paulo, Línea 4 (Brasil)	30
2.2.2.6.5 Dubái, Línea Roja (Emiratos Árabes Unidos)	31
2.2.2.6.6 Conclusiones	33

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

## 2.2.2 PLAN DE OPERACIÓN PRELIMINAR

<b>Disciplina:</b>	<b>Operación</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 7 / ET02-POP</b>

### 2.2.2.1 Normativa aplicable

No existe una normativa aplicable al componente de operación en sí. De hecho, las condiciones y parámetros de operación se definen tomando en cuenta la normativa que rige los varios sistemas ferroviarios y los demás componentes de obra civil. El marco normativo asociado al plan de operación preliminar está de hecho presentado en los capítulos asociados con la política RAMS, el material rodante, la señalización, las telecomunicaciones, las puertas de andenes, el diseño geométrico del sistema metro, la alimentación eléctrica, la superestructura de vía y las demás normas presentadas al nivel de los componentes de obra civil (túnel, estaciones, normas de construcción del viaducto, etc.).

### 2.2.2.2 Revisión del estudio de prefactibilidad de la Línea 2 del Metro de Bogotá

<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 3 – Análisis de Nodo de Terminación y Definición del Proyecto con Base en Restricción Presupuestal
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Se desarrollaron las siguientes actividades que abarcan el tema de la operación del proyecto en sus grandes líneas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Evaluación multicriterio de las alternativas para los nodos de terminación, localización del patio-taller</li><li>● Actualización de la demanda</li></ul> <p>Este producto analiza las alternativas presentadas ante el Comité Técnico (Entregable 2 – Análisis de Alternativas), mediante los criterios siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● Afectación ambiental</li></ul>

- Proceso constructivo
- Urbano-paisajístico
- Afectación social
- Beneficios sociales por mejoras en transporte
- Financiero
- Riesgo

La tabla siguiente es un ejemplo de los resultados de la evaluación multicriterio:

**Tabla 5.94 Resultados evaluación multicriterio alternativas de nodo de terminación**

Alt	Corredor	Tipología de línea	Eval.	13%	14%	10%	5%	18%	25%	15%
				Afectación Ambiental	Proceso constructivo	Urbano-Paisajístico	Afectación Social	Beneficios sociales por mejoras en transporte	Financiero	Riesgo
2.16	Calle 72 – Av. Cali – ALO	Subterránea	93,36	100,0	95,1	93,7	100,0	96,5	90,4	86,4
2.13	Calle 72 – Av. Cali	Subterránea	92,72	97,9	87,7	90,0	88,5	100,0	90,8	91,5
2.15	Calle 72 – Av. Cali – ALO	Mixta	89,93	94,0	83,9	74,1	80,8	89,7	98,7	92,3
2.14	Calle 72 – Av. Cali	Mixta	89,45	88,9	81,1	63,8	73,1	93,0	99,7	99,0

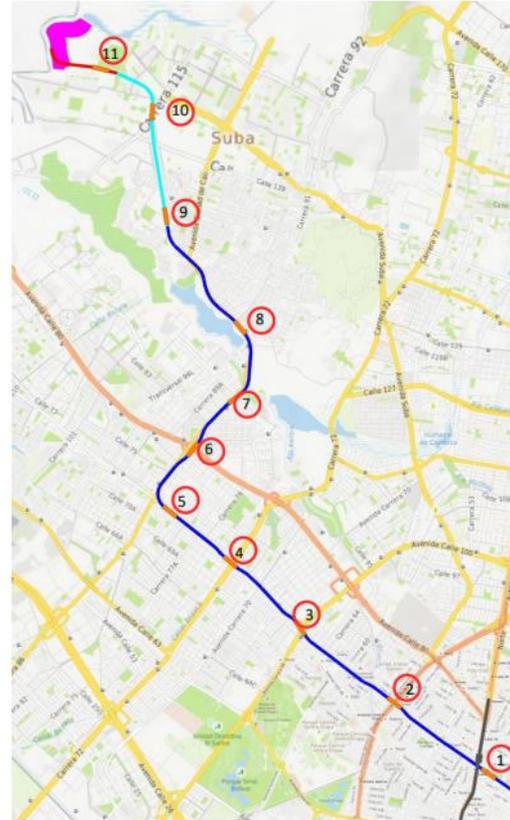
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

Se presenta en la figura siguiente el trazado, la localización de las estaciones y del patio-taller concluidos como la mejor opción:

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

Figura 7.64 Trazado y Localización de estaciones – Proyecto de Expansión Priorizado



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

Figura: Trazado y localización de estaciones (Fuente: Producto 3, Figura 7.64)

**Conclusiones del estudio de prefactibilidad:**

Conclusiones destacadas:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>El análisis multicriterio determinó que el corredor Calle 72 – Av. Cali – ALO, tipología Subterránea es la alternativa mejor calificada.</li> <li>Asimismo, la mejor ubicación del patio-taller fue determinada como el polígono corresponde al denominado “Fontanar de Río”.</li> <li>En el corte temporal 2050 y la oferta conservadora (Oferta 0 o 2; ver p.13 del presente documento), la carga máxima de la PLMB-T1 alcanza los 70.000 pasajeros/hora – sentido sur norte - y la Línea 2 del Metro de Bogotá cerca de 50.000 pasajeros/hora – sentido norte sur.</li> </ul>	
<b>Ítem</b>	<b>Aspectos relevantes</b>	<b>¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?</b>
<b>Análisis de fuentes de pago (p158 - p160)</b>	La estimación de costos depende entre otros aspectos del dimensionamiento de la línea, del material rodante y del patio – taller.	Se tendrá que definir, de acuerdo con FDN y EMB, el nivel de operación (intervalo de los trenes, velocidad comercial, etc.) para identificar los dimensionamientos de las infraestructuras. El nivel de operación deberá ser coherente con el nivel de demanda a satisfacer por el sistema de transporte validado por FDN y EMB.
<b>Actualización de la demanda del Proyecto de expansión priorizada (p163-p164)</b>	La estimación del volumen de pasajeros para 2030 y 2050 para sección y estación.	Se detallará más precisamente las hipótesis, sobre todo el modelo de la demanda teniendo cuenta la oferta del transporte.
<b>Aspectos críticos por atender:</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtener el acuerdo con FDN y EMB sobre el nivel de la operación requerido y lo de demanda a satisfacer.</li> </ul>	
<b>Interfaces:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obra civil: desarrollos paralelos considerando los factores limitantes identificados</li> <li>Patio-taller: desarrollos paralelos considerando los factores limitantes identificados</li> <li>Material rodante: las condiciones de la línea (curva, inclinación, etc.) es uno de los insumos para el diseño del material rodante.</li> </ul>	

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

<b>CAPEX y OPEX</b>	No aplicable
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	
<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 4 – Estudios y diseños de prefactibilidad Entregable 7 – Tipología e Inserción de Estaciones   Informe de Prototipos Arquitectura y funciones/servicios
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Actividades desarrolladas</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Definición de perfiles viales</li><li>• Diseño de las tipologías de las estaciones y del patio-taller.</li><li>• Propuesta de inserción urbana de las estaciones y del patio-taller.</li><li>• Se realizó un primer ejercicio de definición del alineamiento del proyecto tomando en cuenta una configuración de túnel en bitubo y los distintos factores limitantes de inserción urbana que fueron comentados con la FDN y la EMB durante varias mesas de trabajo. Es importante mencionar que este alineamiento fue determinado a nivel de prefactibilidad y que requerirá importantes profundizaciones a lo largo del estudio de factibilidad.</li></ul> <p>Este producto desarrolló las definiciones de perfiles viales, y los diseños de las tipologías de las estaciones y del patio-taller, junto con sus inserciones urbanas, a partir del trazado y localización de la línea previamente definidos.</p>

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

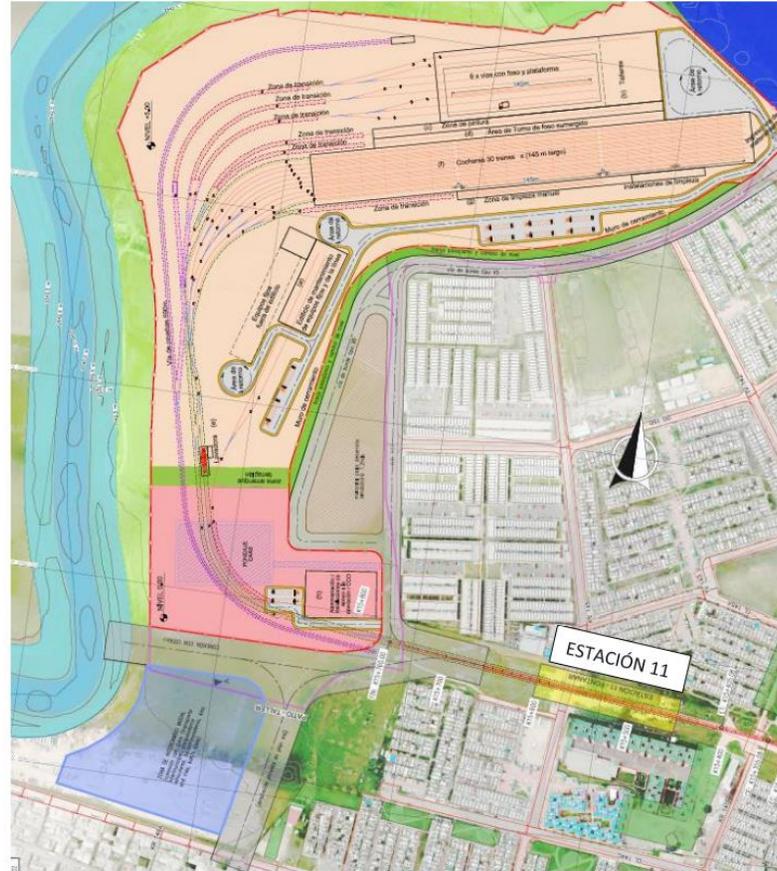
E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

**Tabla 2.1 Cuadro general de estaciones**

Estación	Localización	Tipología de Línea	Tipología de Estación
E1	Calle 72 - Carrera 11	Subterránea	Andenes laterales
E2	Calle 72 - Avenida NQS	Subterránea	Andén central
E3	Calle 72 - Avenida 68	Subterránea	Andén central
E4	Calle 72 - Avenida Boyacá	Subterránea	Andén central
E5	Calle 72 - Av. Ciudad de Cali	Subterránea	Andén central
E6	Av. Ciudad de Cali - Calle 80	Subterránea	Andén central
E7	Av. Ciudad de Cali - Calle 90	Subterránea	Andén central
E8	Av. Ciudad de Cali - Carrera 93	Subterránea	Andén central
E9	ALO - Calle 130A	Bajo nivel terreno	Andenes laterales
E10	ALO - Calle 143A	Bajo nivel terreno	Andenes laterales
E11	Calle 145 (Av. Suba) - Carrera 145	Elevada	Andenes laterales

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

Figura 1.3 Patio Taller – Predio Fontanar del Rio



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

	<p style="text-align: center;"><b>Figura 10.83 Imagen 3D de la estación 1</b></p>  <p style="text-align: center;">Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021</p>	
<p><b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>Conclusiones destacadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Las estaciones 1-10 son subterráneas y la 11 es elevada.</li> <li>● La configuración de las estaciones 2-8 es la misma.</li> </ul> <p>Puntos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Compatibilidad entre el flujo de pasajeros máximo y la capacidad de las plataformas.</li> </ul>	
Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<p><b>Inserción urbana de Patio Taller (p62 – p65)</b></p>	<p>Se detalló el esquema del Patio Taller con su ambiente urbano.</p>	<p>Se tendrá que detallar la conexión entre la estación 11 (Fontanar) y el patio-taller, especialmente el viaducto para resolver la diferencia de los niveles entre la plataforma de la estación y el patio-taller.</p>
<p><b>Descripción de la organización funcional de las estaciones (p91)</b></p>	<p>El ancho útil de los andenes es de 6,25 metros (Est. 1)</p>	<p>Averiguar la organización funcional y el dimensionamiento de los andenes. La metodología deberá ser detallada en la asesoría técnica.</p>

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

<b>Consideraciones generales del flujo de pasajeros en estaciones de Metro (p108)</b>	<p>El flujo peatonal en los andenes está calculado basándose en hipótesis sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La tasa de flujos peatonales</li> <li>• El número de puertas y sus dimensiones</li> <li>• El número de buses en una hora por estación</li> </ul>	Averiguar que la hipótesis sobre las puertas del material rodante se encuentre compatible con las condiciones previstas para la operación.
<b>Aspectos críticos por atender:</b>	<p><b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión de la conexión entre la estación 11 (Fontanar) y el patio-taller.</li> </ul>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>
<b>Interfaces:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obras civiles: el producto de salida de este entregable va a ser un insumo.</li> <li>• Patio – Taller: el producto de salida de este entregable va a ser un insumo. Sin embargo, la conexión con la estación 11 (Fontanar) tendrá que ser precisada.</li> </ul>	
<b>CAPEX y OPEX</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El dimensionamiento de las infraestructuras y de las estaciones definidas por las necesidades de operación es uno de los factores claves que determinan el CAPEX</li> </ul>	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>		

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 6 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	Alcance del documento (p.7): <ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensionamiento de la oferta de transporte: capacidad, tamaño de los trenes e intervalo de operación para satisfacer la demanda de transporte.</li><li>• Estimación de los tiempos de recorridos.</li><li>• Dimensionamiento de la flota de material rodante (número de trenes).</li><li>• Producción kilométrica anual.</li><li>• Plano de vías.</li></ul>

Hipótesis de oferta de transporte y estimaciones de la demanda (carga máxima) correspondientes:

Figura 5.6 Escenarios de oferta.

Oferta 0	Oferta 1	Oferta 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de transporte público 2020</li> <li>• SITP 100% Implementado</li> <li>• Corredor Verde Carrera 7</li> <li>• Troncales:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• - Av Carrera 68 entre Autopista Sur y Carrera 7</li> <li>• - Av. Ciudad de Cali desde Av. Circunvalar del Sur hasta Av. Manuel Cepeda Vargas</li> <li>• - Fase II y III de Soacha</li> <li>• - Extensión Troncal Caracas Sur desde Molinos hasta Portal Usme</li> </ul> </li> <li>• PLMB-T1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferta 0</li> <li>• Troncales:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Av. Villavicencio desde Av. Boyacá hasta Autopista Sur</li> <li>• Extensión Autopista Norte desde Estación Terminal hasta Calle 245</li> <li>• Extensión Troncal Eldorado desde Portal Eldorado hasta Aeropuerto</li> <li>• Conexión troncal Américas desde NQS hasta Puente Aranda</li> <li>• Corredor férreo de occidente</li> <li>• Corredor férreo del norte</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferta 1</li> <li>• Troncales                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avenida Boyacá desde Yomasa hasta Calle 245</li> <li>• Avenida Cali desde Av. Manuel Cepeda Vargas hasta Calle 80</li> <li>• Extensión Troncal Eldorado hasta Aeropuerto</li> <li>• Extensión Troncal Calle 80 hasta límite del Distrito Capital</li> <li>• Av. José Celestino Mutis desde Av. Caracas hasta límite del Distrito Capital</li> <li>• Corredor férreo del Sur</li> </ul> </li> </ul>

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

Tabla 5.1 Resultados de la estimación de la demanda – Carga máxima de la línea 2 en los horizontes 2030 y 2050.

Carga máxima en hora pico (PPHPD)	Año 2030	Año 2050
Escenario "oferta 0"	37 268	50 016
Escenario "oferta 1"	45 358	61 286
Escenario "oferta 2"	36 651	50 210

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

Hipótesis del material rodante (p.14):

- Longitud del tren y cantidad de vagones: se analizaron diferentes longitudes de trenes con el fin de determinar aquellos que mejor se adaptan a la demanda de transporte.
  - **145m, correspondiente a un tren de 7 vagones de aproximadamente 20m cada uno**
- (misma longitud de los trenes previstos para la PLMB).

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

- 125m, correspondiente a un tren de 6 vagones (un vagón menos respecto a la PLMB).
- 165m, correspondiente a un tren de 8 vagones (un vagón más respecto a la PLMB).
- Norma de comodidad: 6 pasajeros / m<sup>2</sup> al interior del tren.
- Ancho del tren: 2.90m
- Capacidad del tren: teniendo en cuenta una densidad de 6 pasajeros / m<sup>2</sup>, la capacidad de los diferentes trenes es:
  - **Trenes de 145m: 1800 pasajeros (misma capacidad que lo trenes de la PLMB)**
  - Trenes de 125m: 1543 pasajeros
  - Trenes de 165m: 2057 pasajeros

		Tabla 5.4 Intervalo en hora pico en función de las capacidades de cada tren.			
		Carga máxima e intervalo por tipo de tren	2030 (oferta 1)	2050 (oferta 2)	2050+ (oferta 1) Objetivo capacidad para dimensionamiento infraestructuras
		Carga máxima en la hora pico (PPHPD)	45 358	50 210	61 286
		Intervalo requerido en hora pico (s) Tren de 145m / capacidad 1800 pas.	143 s	129 s	106 s
		Intervalo requerido en hora pico (s) Tren de 125m / capacidad 1543 pas.	122s	111s	91s
		Intervalo requerido en hora pico (s) Tren de 165m / capacidad 2057 pas.	163s	147s	121s
		Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021			
		El tiempo de recorrido fue determinado mediante un software desarrollado por Egis, SIMONE. (p17)			
<b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b>	Conclusiones destacadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Los trenes de 145m de longitud (7 coches de 20m de longitud) y de capacidad 1800 pasajeros con intervalo de operación de 143s en la hora pico pueden transportar la carga máxima en la hora pico de 45.358 PPHPD, en el horizonte de 2030.</li> </ul>				

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Los mismos trenes con intervalo de 129s pueden transportar 50.210 PPHPD, en el horizonte de 2050.</li> <li>● La velocidad comercial estimada fue 43,5 km/h con 20min40s de tiempo de recorrido en el sentido sur-norte, y 42,8 km/h con 20min58s en el sentido norte-sur.</li> <li>● La sinergia entre las líneas 1 y 2 fue investigada, desde los puntos de vista siguientes:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Operación: interoperabilidad completa no posible a corto y largo plazo, debido a la dificultad técnica y/o imposibilidad de conexión física entre las dos líneas.</li> <li>○ Mantenimiento: compatibilidad del material rodante fue recomendada para la economía del gasto de mantenimiento a largo plazo.</li> <li>○ “Asset Management”: la homogeneidad de las tecnologías fue recomendada.</li> </ul> </li> </ul> <p>Puntos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Se tendrá que revisar el diagrama del material rodante (e.g., emplazamiento de los asientos) para justificar la estimación de capacidad 1800 pasajeros en 7 coches de 20m.</li> <li>● Se deberá precisar los requerimientos de la interoperabilidad como los equipamientos del material rodante. La similitud de los equipamientos puede disminuir los costos de mantenimiento y de renovación, aunque la conexión física entre las líneas 1 y 2 no sea prevista.</li> </ul>	
Ítem	Aspectos relevantes	¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?
<b>Demanda (p11)</b>	3 escenarios distintos de oferta de transporte (diferencia de demanda de la L2MB de +/- 20% según los escenarios); se seleccionó el escenario 1 para 2030 y el escenario 2 para 2050 (reunión del 02/03/21 con EMB)	Se verificará y precisará la demanda de transporte de la L2MB en el marco del estudio de demanda de la asesoría técnica
<b>Demanda (p14)</b>	Problemática de la saturación a largo plazo de la PLMB que podría generar una baja de la demanda de la L2MB por el número importante de viajeros que irán utilizando ambas líneas	Se verificará y precisará la demanda de transporte de la L2MB en el marco del estudio de demanda de la asesoría técnica
<b>Demanda / material rodante (p14)</b>	Sensibilidad del modelo a la oferta de la L2MB (pareja tamaño material rodante (capacidad unitaria) frente a intervalo necesario para atender la demanda)	Precisar el nivel del servicio que debe ser coherente con el nivel de demanda a satisfacer (tiempo de espera, intervalo, nivel de confort, etc.).

		<p>Confirmar la capacidad unitaria del material rodante frente a la sensibilidad del modelo (pareja demanda / costos); definir de qué manera tener trenes de 165m en el lugar de 145m (que fueron utilizados para el dimensionamiento de los trenes) impactaría de manera importante la infraestructura y su costo.</p> <p>Averiguar las hipótesis para la capacidad del material rodante (MR): se necesita el diagrama del MR.</p>
<b>Demanda / intervalo mínimo (p15)</b>	El intervalo mínimo de la L2MB fue determinado como el valor similar a lo de la PLMB (100s)	Comparar los elementos que afectan el intervalo mínimo operacional entre la PLMB y la L2MB, para justificar la decisión de tomar un valor similar a lo de la PLMB para la L2MB (100s).
<b>Operación y parámetros de diseños del MR y del diseño geométrico (p18 + ver informe relacionado con el diseño geométrico)</b>	El tiempo de recorrido fue determinado mediante parámetros de diseño del MR y parámetros de diseño geométrico	<p>Las hipótesis de velocidad en línea recta y en curva, y también los radios de curva parecen correctos. Averiguar que las hipótesis corresponden con valores estándares.</p> <p>Tiempos teóricos frente a tiempos constatados en operación GOA4 (incluyendo tiempo de distensión y tiempo de regulación). Precisar la masa en vacío y con pasajeros: en la Tabla 6.6, la masa en vacío es superior a la masa con pasajeros (276 toneladas &gt; 126 toneladas), no puede ser correcto.</p>
<b>Operación (tiempos de parada) (p19-20)</b>	El tiempo de espera en las estaciones fue determinado a través de hipótesis en relación con los ascensos y descensos en cada estación	<p>Averiguar que los tiempos de parada corresponden con valores admitidos en relación con el número de ascensos y descensos.</p> <p>Revisar el tiempo de parada en los términos: 20s en el andén de salida de la estación terminal puede ser demasiado corto, mientras que 30s en el andén de llegada de la estación terminal puede ser demasiado largo.</p>
<b>Operación (tiempo de recorrido) (p21-24)</b>	El tiempo de recorrido comercial fue determinado a través del trazado de la línea.	<p>Justificar las limitaciones de la velocidad en relación con el radio de la curva.</p> <p>Averiguar el nivel de confort a bordo: la velocidad comercial de 43,5 km/h o 42,8 km/h podría ser demasiado elevada, necesitando una potente aceleración y deceleración que baja el nivel de confort a bordo.</p>

<b>Tamaño de la flota (p25)</b>	Hipótesis de dimensionamiento de la flota de trenes	Averiguar las hipótesis incluyendo para los trenes de reserva de operación y mantenimiento. Justificar (o no) la necesidad de reservar un 15% de la flota en línea, no un 10% como otras líneas.
<b>Tamaño de la flota (p26)</b>	Patio-taller prediseñado para recibir trenes relacionados con la hipótesis más crítica de demanda	Averiguar en el informe de patio-taller que permite recibir este número de trenes (23-26 trenes) de 145m de longitud.
<b>Horarios y kilometraje (p27)</b>	Se determinaron los horarios en función de lo que se determinó para la línea 1	Averiguar con EMB que siguen validos los horarios de la PLMB Justificar de qué manera los horarios tienen que ser los mismos (o diferentes)
<b>Kilometraje anual (p29-30)</b>	El kilometraje anual fue estimado como la suma del kilometraje comercial y el kilometraje en vacío.	Justificar el cálculo del kilometraje en vacío, que debe tener cuenta los trenes sin viajeros en la línea (e.g., en el período de transición de la hora punta a la hora valle), además de las distancias recorridas para las maniobras de retorno en los terminales y las mismas entre la zona de estacionamiento y la línea.
<b>Plano de vías (p31)</b>	Se definió un plano de vías para permitir la operación en las condiciones mencionadas	La ubicación y el número de los aparatos de vías parecen correctos para asegurar la robustez de la operación. El túnel en monotubo sería favorecido porque el bitubo necesita la construcción de recintos de conexión entre los dos tubos para tener los aparatos de vías. Se precisará en la asesoría la configuración más detallada del plano de vías.
<b>Estacionamiento de trenes en calle 72 (p32)</b>	Se determinó una necesidad de estacionamiento de trenes al nivel de la estación terminal calle 72	Determinar la necesidad de estacionamiento Intentar disminuirla dados los requerimientos de infraestructura necesaria en esta zona (longitud del túnel, etc.) Para estudiar el impacto de las diferentes alternativas en la flexibilidad de la operación, se tendrá que analizar los elementos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• el número de estacionamientos</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>la sucesión de descargas y su ritmo para cumplir el programa de carga en hora punta</li> <li>la posibilidad del estacionamiento entre las líneas</li> </ul> <p>Añadir un plano microscópico de la zona entre Fontanar (Estación 11) y el patio-taller.</p>
<b>Operación en modo degradado (p34)</b>	Se menciona la posibilidad de un servicio de autobuses de sustitución	Se tendrá que definir la estrategia completa de operación en modo degradado para varios tipos de eventos, detallando de manera precisa los dispositivos correspondientes
<b>Sinergias operacionales entre L1 y L2 (p38)</b>	Se precisa que el estudio de factibilidad debe contemplar dos escenarios: el operador de L1 opera también L2 o dos operadores distintos...	Anotado
<b>Centro de Control Operacional (p45)</b>	Se propone realizar dos Centro de Control Operacional (CCO): uno para operación normal y el otro para respaldo, en la misma ubicación.	Averiguar la necesidad de implementar dos CCOs. Si es necesario, los dos tienen que ubicarse idealmente en distintos lugares para que el funcionamiento sea redundante.
<b>Puertas de Andén o Plataforma (p49)</b>	Se precisa las condiciones para que la línea 1 y 2 sean compatibles.	Anotado
<b>Estimación de los Requisitos de Potencia de la línea (distribución de potencia) (p53)</b>	Se calculó los requisitos de potencia a través de las hipótesis de la operación	Averiguar la sensibilidad de la estimación al frente de las diferentes hipótesis del intervalo, del dimensionamiento del material rodante y del tamaño de la flota.
<b>Control de Pasajeros (p76)</b>	Se precisa que los operadores de las dos líneas son diferentes (17.18).	Se tendrá que definir los escenarios sobre el operador único o dos operadores diferentes para L1 y L2.
<b>Aspectos críticos por atender:</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

	<ul style="list-style-type: none"><li>● Validación del PPHPD máximo (hipótesis)</li><li>● Validación del concepto de plan de vías y más globalmente de las premisas del Plan de Operación Preliminar desarrollado en el estudio de prefactibilidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Validación del PPHPD máximo a través del Estudio de Demanda (Entregable 5 – ET01-Demanda)</li></ul>
<b>Interfaces:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Patio – Taller: la capacidad del patio-taller depende del tamaño de la flota, de la longitud del material rodante y de las necesidades de mantenimiento.</li><li>● Material Rodante: el dimensionamiento debe ser compatible con PPHPD estimado.</li><li>● Obra civil (línea, estaciones): el material para el riel y el dimensionamiento de las estaciones dependen del material rodante, cuyo dimensionamiento debe ser determinado basándose en las hipótesis de la operación</li></ul>	
<b>CAPEX y OPEX</b>	CAPEX: <ul style="list-style-type: none"><li>● La parte de las obras civiles debería ser revisada en función de la tipología final de las líneas / de las estaciones.</li></ul> OPEX: <ul style="list-style-type: none"><li>● Personales de mantenimiento y de operación pueden ser economizados si un único operador opera las dos líneas.</li><li>● El consumo de energía debería ser revisado con la hipótesis final de la operación (intervalo, material rodante, etc.)</li></ul>	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>		

<b>Entregable de referencia:</b>	Producto 7 – CAPEX, OPEX, Cronograma y Análisis Beneficio Costo del Proyecto Entregable 11 – CAPEX, OPEX y Cronograma del Proyecto																														
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Actividades desarrolladas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Cálculo del OPEX del proyecto</li> </ul> <p>Este producto desarrolló el cálculo del CAPEX y del OPEX del proyecto con la información y los supuestos adaptados para la línea.</p> <p>OPEX:</p> <p><b>Tabla 4.9 Costo promedio anual de operación</b></p> <table border="1" data-bbox="682 771 1339 1120"> <thead> <tr> <th>Costo promedio anual</th> <th>US\$ 2020</th> <th>COP 2020</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Personal de mantenimiento</td> <td>\$ 5 241 400</td> <td>17 962 277 800 COP</td> </tr> <tr> <td>Piezas y material</td> <td>\$ 12 016 600</td> <td>41 180 888 200 COP</td> </tr> <tr> <td>Personal de operación</td> <td>\$ 3 202 900</td> <td>10 976 338 300 COP</td> </tr> <tr> <td>Personal de gerencia y soporte administrativo</td> <td>\$ 1 110 100</td> <td>3 804 312 700 COP</td> </tr> <tr> <td>Consumo de energía</td> <td>\$ 6 805 600</td> <td>23 322 791 200 COP</td> </tr> <tr> <td>Gastos generales y seguros</td> <td>\$ 3 407 900</td> <td>11 678 873 300 COP</td> </tr> <tr> <td>Riesgos y contingencias</td> <td>\$ 4 767 675</td> <td>16 338 822 225 COP</td> </tr> <tr> <td><b>Total (promedio anual)</b></td> <td><b>\$ 36 552 175</b></td> <td><b>125 264 303 725 COP</b></td> </tr> <tr> <td><i>Ratio por tren-km</i></td> <td><i>\$ 13,0</i></td> <td><i>44 403 COP</i></td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021</p> <p>Las hipótesis principales son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Los salarios de los personales: 25% de los valores observados en los países europeos (para mantenimiento), y diferentes según sus funcionamientos. Sin embargo, la fuente de los datos no es conocida.</li> <li>● El consumo unitario de tracción: 17 kWh/tren-km</li> <li>● El costo de electricidad: 0,09 \$/kWh</li> <li>● El costo de los seguros: 0,1 \$ / tren-km</li> </ul>	Costo promedio anual	US\$ 2020	COP 2020	Personal de mantenimiento	\$ 5 241 400	17 962 277 800 COP	Piezas y material	\$ 12 016 600	41 180 888 200 COP	Personal de operación	\$ 3 202 900	10 976 338 300 COP	Personal de gerencia y soporte administrativo	\$ 1 110 100	3 804 312 700 COP	Consumo de energía	\$ 6 805 600	23 322 791 200 COP	Gastos generales y seguros	\$ 3 407 900	11 678 873 300 COP	Riesgos y contingencias	\$ 4 767 675	16 338 822 225 COP	<b>Total (promedio anual)</b>	<b>\$ 36 552 175</b>	<b>125 264 303 725 COP</b>	<i>Ratio por tren-km</i>	<i>\$ 13,0</i>	<i>44 403 COP</i>
Costo promedio anual	US\$ 2020	COP 2020																													
Personal de mantenimiento	\$ 5 241 400	17 962 277 800 COP																													
Piezas y material	\$ 12 016 600	41 180 888 200 COP																													
Personal de operación	\$ 3 202 900	10 976 338 300 COP																													
Personal de gerencia y soporte administrativo	\$ 1 110 100	3 804 312 700 COP																													
Consumo de energía	\$ 6 805 600	23 322 791 200 COP																													
Gastos generales y seguros	\$ 3 407 900	11 678 873 300 COP																													
Riesgos y contingencias	\$ 4 767 675	16 338 822 225 COP																													
<b>Total (promedio anual)</b>	<b>\$ 36 552 175</b>	<b>125 264 303 725 COP</b>																													
<i>Ratio por tren-km</i>	<i>\$ 13,0</i>	<i>44 403 COP</i>																													

- Reemplazamiento de los repuestos (a ver la tabla siguiente; 4.29 del Entregable 11)

Tabla 4.10 Tiempo de vida útil por componente

Categoría de activos	Vida útil (años)	Costo reinversión (US\$ 2020)
Infraestructura física	100	No requerido
Material rodante – renovación media vida	20	2.030.000 \$/tren
Material rodante – reemplazo	40	10.150.000 \$/tren
Vía férrea	30	Aprox. 200 \$ / km
Equipos de energía eléctrica	40	100% del costo inicial de adquisición
Equipos electromecánicos en estaciones y túneles	30	130% del costo inicial de adquisición
Señalización y control de trenes	30	130% del costo inicial de adquisición <sup>2</sup>
Equipos de comunicaciones, billeteo, peaje, sistemas centrales	15	Incluido en OPEX
Vehículos de mantenimiento y herramientas y equipos industriales del patio taller	30-50	Entre 100% y 140% del costo inicial de adquisición <sup>1</sup>

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

Conclusiones del estudio de prefactibilidad:

Puntos clave:  
 - Averiguar las hipótesis de la operación, sobre todo el tamaño de la flota del material rodante (no coherente entre los Entregables)

Ítem

Aspectos relevantes

¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?

<b>OPEX (p22)</b>	La estimación del OPEX se basa en las hipótesis del intervalo y de la flota de material rodante, definido en el Entregable 10.	Corregir la hipótesis del tamaño de la flota de material rodante para la estimación del OPEX: la hipótesis en el año 2030 fue 23 trenes en el Entregable 10, mientras que el valor en este producto (Entregable 11) fue 22 trenes. Para satisfacer la demanda y la condición de la reserva del tren, 23 trenes son necesarios como calculado en Entregable 10.
<b>OPEX (p22)</b>	Los costos se calcularon con la tasa de cambio de la fecha 15/12/2020 (1 US\$ = 3427 COP).	Actualizar los costos en COP con la tasa de cambio actual considerando la evolución de la tasa de cambio en el tiempo
<b>Costos de personal de operación, gerencia y soporte administrativo (p22-24)</b>	“El cálculo de los costos de operación supone una organización y un dimensionamiento de los equipos de operaciones, así como de los equipos de gestión y administración general.” (4.5) Si una organización mantiene las dos líneas, el OPEX total para las dos puede ser reducido.	Determinar el grado de compatibilidad de los materiales rodantes de las dos líneas y los otros equipamientos necesarios para el mantenimiento.
<b>Aspectos críticos por atender:</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Determinar el kilometraje anual de las primeras premisas de trabajo del Plan de Operación</li> <li>● Validar la estructura de la operación</li> <li>● Actualizar costos de operación</li> <li>● Definir el nivel de interoperabilidad con PLMB</li> </ul>	
<b>Interfaces:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Patio taller: el dimensionamiento del patio taller fue el insumo de la estimación del CAPEX y del OPEX.</li> <li>● Material rodante: el dimensionamiento del material rodante y el plan de mantenimiento fueron el insumo de la estimación del OPEX.</li> </ul>	

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001\_VF

<b>CAPEX y OPEX</b>	No aplicable (se ha tratado en la parte “Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad”).
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	

### 2.2.2.3 Análisis Beneficio Costo

<b>Entregable de referencia:</b>	Entregable 12 – Análisis Beneficio Costo
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	<p>Actividades desarrolladas</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis Beneficio Costo para el período de 75 años<ul style="list-style-type: none"><li>○ Definición de los escenarios</li><li>○ Estimación de costos del proyecto</li><li>○ Estimación de beneficios del proyecto</li></ul></li></ul> <p>Los costos y los beneficios fueron calculados para cada uno de los elementos siguientes:</p>

**Tabla 1.1: Costos y beneficios de proyectos de transporte**

Costos	Beneficios
Costos de inversión del proyecto.	Reducción de tiempo total de viaje. Esta reducción puede resultar de un aumento de la velocidad, de la frecuencia, por cambios de la oferta de transporte, por reducción de congestión, entre otros.
Costos operativos.	Ahorros en los costos operativos de la infraestructura o de vehículos como consecuencia del proyecto.
Variación costos de mantenimiento y explotación.	Mejora en la calidad y fiabilidad de los servicios de transporte
Costos de reacondicionamiento y o sustitución	Reducción de siniestros viales y pérdidas de vidas.
Externalidades negativas	Variaciones en contaminación del aire.
	Variación en emisiones de gases efecto invernadero.
	Variación en emisiones de ruido .
	Variación valor del suelo o propiedad
	Externalidades positivas.

Fuente: Steer basado en (de Rus Mendoza, Betancor Cruz, & Campos Méndez, 2006) (European Comission, 2014) (HM Treasury, 2018)

	<p><b>Tabla 2.3: Relación beneficio-costos sensibilidad tasa social de descuento</b></p> <table border="1" data-bbox="680 391 1539 545"> <thead> <tr> <th>Escenario</th> <th>4%</th> <th>9% con descuento hiperbólico</th> <th>12%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Escenario 1</td> <td>1,90</td> <td>1.11</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>Escenario 2</td> <td>1,91</td> <td>1.12</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>Escenario 3</td> <td>1,76</td> <td>1.02</td> <td>0,62</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: Steer, 2021</p>		Escenario	4%	9% con descuento hiperbólico	12%	Escenario 1	1,90	1.11	0,68	Escenario 2	1,91	1.12	0,68	Escenario 3	1,76	1.02	0,62
Escenario	4%	9% con descuento hiperbólico	12%															
Escenario 1	1,90	1.11	0,68															
Escenario 2	1,91	1.12	0,68															
Escenario 3	1,76	1.02	0,62															
<p><b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b></p>	<p>Conclusiones destacadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La implementación de la L2MB generará beneficios positivos a la ciudad y una rentabilidad significativa, teniendo cuenta de los elementos siguientes:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ahorros de tiempo de viaje</li> <li>○ Costos ambientales / de operación</li> <li>○ Reducción de siniestralidad vial</li> <li>○ Valorización de predios en el área de influencia</li> </ul> </li> <li>● La evaluación contiene una gran sensibilidad debido a los varios parámetros como el valor del tiempo y del suelo.</li> </ul>																	
<p><b>Ítem</b></p>	<p><b>Aspectos relevantes</b></p>	<p><b>¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?</b></p>																
<p><b>Escenarios de análisis (p6-)</b></p>	<p>Tres escenarios con proyecto y un escenario sin proyecto fueron investigado al marco del análisis beneficio costo.</p>	<p>Se tendrá que averiguar la correspondencia entre los escenarios de la demanda y de la oferta estudiado en el Entregable 10 y los mismos en este producto.</p>																
<p><b>Aspectos críticos por atender:</b></p>	<p><b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b></p>	<p><b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b></p>																

<b>Interfaces:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Obra Civil: las informaciones de la tipografía del viaducto, del túnel, de las estaciones y del riel fueron el insumo de la estimación del CAPEX. Así que estas informaciones afectan el análisis beneficio costo.</li> <li>● Patio taller: el dimensionamiento del patio taller fue el insumo de la estimación del CAPEX y del OPEX. Así que estas informaciones afectan el análisis beneficio costo.</li> </ul> <p>Material rodante: el dimensionamiento del material rodante y el plan de mantenimiento fueron el insumo de la estimación del OPEX. Así que estas informaciones afectan el análisis beneficio costo.</p>
<b>CAPEX y OPEX</b>	<p>Los principales elementos que se han utilizado son los siguientes.</p> <p>CAPEX (1.36):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- los costos de adquisición, construcción, estudios y diseños, urbanismo, estructura y material rodante de la línea</li> <li>- costos de redes, planes de manejo de tráfico, estaciones, patio taller, alimentación eléctrica, señalización, comunicaciones, y todos los costos directos que deben realizarse para lograr el proyecto</li> </ul> <p>OPEX (1.48):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- los costos de mano de obra, materiales, energía, seguros y gastos generales relacionados con la operación y el mantenimiento de todos los componentes de la SLMB, incluidos los costos de renovación y reemplazo</li> </ul>
<b>Otros aspectos relevantes:</b>	

### 2.2.2.4 Conclusiones

Los estudios de la prefactibilidad sobre la operación fueron desarrollados con base en la estimación de la demanda (carga máxima de 45.000 pphpd en 2030 y 50.000 pphpd en 2050; Entregable 4 y 10). El intervalo de los trenes (143 s en 2030 y 129 s en 2050) y el dimensionamiento del material rodante (7 coches, 145 m) y de las infraestructuras fueron determinados para que la oferta se ajuste a la demanda.

A continuación, se detallan los puntos a atender para elaborar el POP:

1. Infraestructura: la necesidad de los estacionamientos en la cola de maniobra detrás del terminal Calle 72. La complejidad de las obras civiles en esta zona (centro de la ciudad) requiere una disminución de este espacio.

2. Material rodante: el dimensionamiento más preciso para evaluar la factibilidad de 1800 pasajeros/tren
3. Operación: la definición clara del tamaño de la flota de material rodante, del movimiento de los trenes (con pasajeros y vacíos) (y la estimación del OPEX que sigue), y del nivel de confort a bordo (averiguar la curva de velocidad). Los procedimientos describiendo los modos degradados.
4. Interoperabilidad: el requerimiento de la similitud de los materiales rodantes entre la línea 1 y 2 de metro de Bogotá. La interoperabilidad completa no será necesaria porque la conexión física entre las dos líneas no es prevista, pero el grado de la similitud debe ser definido teniendo en cuenta la posibilidad del operador único y del ahorro de los costos de mantenimiento.

Se precisarán estos elementos en la asesoría técnica de la siguiente manera:

1. Infraestructura: para estudiar las alternativas de la cola de maniobra y sus impactos en la flexibilidad de la operación, analizaremos:
  - a. el número de los estacionamientos en las terminales
  - b. la sucesión de inyecciones de trenes y su ritmo para cumplir el nivel de servicio de la hora punta
  - c. la posibilidad del estacionamiento en vías principales y las restricciones que siguen
2. Material rodante: se elaborará el diagrama del material rodante
3. Operación: verificaremos la factibilidad del trazado con los expertos de las otras disciplinas y analizaremos detalladamente la curva de velocidad, el tiempo de recorrido, el intervalo y el tamaño de la flota del material rodante, mediante una herramienta de simulación ferroviaria RailSys.
4. Interoperabilidad: definiremos los requerimientos precisos con la EMB.

La L2MB proveerá una oferta de transporte adicional a la oferta ya existente o prevista por los demás proyectos de infraestructura en el área. La oferta de transporte que irá definiendo en el Plan de Operación Preliminar estará basada sobre la demanda de transporte identificada para el proyecto de L2MB. Estos trabajos de demanda considerarán los parámetros operacionales de dichos proyectos (PLMB, Regiotram, troncales de Transmilenio).

### **2.2.2.5 Aspectos relevantes asociados a la Primera Línea de Metro de Bogotá**

El presente capítulo tiene como objetivo de detallar los aspectos relevantes de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB), para mejor definir las hipótesis en la Línea 2 de Metro de Bogotá (L2MB).

#### **2.2.2.5.1 Hipótesis de la demanda**

En términos de la demanda de pasajeros, el PPHPD previsto en el marco de la estructuración técnica para la PLMB fue 26.000 - 53.000 pasajeros/hora-sentido (entre la puesta en marcha prevista (2022) y el horizonte 2050), mientras que lo mismo para la L2MB en los estudios de prefactibilidad fue 45.000-50.000 pasajeros/hora-sentido (entre 2030 y 2050). La carga máxima prevista de la L2MB es 38% más grande que la misma de la PLMB en el horizonte 2030 (32.868 contra 45.358), así que la capacidad del material rodante e/o la frecuencia de la operación deben ser reforzadas.

La capacidad teórica de la PLMB es 72.000 pphpd (1800 pasajeros/tren e intervalo mínimo operacional 100 s).

#### **2.2.2.5.2 Material rodante**

La hipótesis de la velocidad máxima de servicio de 80 km/h (PLMB) puede ser mantenida para la L2MB.

La capacidad del material rodante de 1800 pasajeros/tren puede ser demasiado elevada para respetar el nivel de confort a bordo de 6 pasajeros/m<sup>2</sup>. Si bajamos la capacidad a 1600 pasajeros/tren, el intervalo deberá ser 115 s en horizonte 2050 (50,000 pphpd) con la flota de 29 trenes (25 + 4 en reserva), mientras que el intervalo de la PLMB fue 129 s con la flota de 26 trenes (23 + 3 en reserva) en horizonte 2050. La automatización de conducción (CBTC) permitiría este intervalo corto, pero deberá averiguar que es compatible con el tiempo de retorno (la hipótesis actual del tiempo total de retorno en cada estación terminal es 131 s; el intervalo mínimo teórico es 100 s en la PLMB).

La proporción de los trenes para mantenimiento y reserva fue 10% de la flota de trenes para mantenimiento (2 en 2022 y 3 en 2030) y un tren para reserva en el caso de la PLMB; 15% en total. Una hipótesis similar puede adaptarse para la L2MB, pero, para reducir el CAPEX y el OPEX, una reducción de la proporción a 10% puede ser una alternativa. Para averiguar la factibilidad, se tendrá que elaborar los planos de movimientos de los materiales rodantes e investigar su robusteza.

#### **2.2.2.5.3 Infraestructura**

El trazado de la PLMB es elevado, mientras que el trazado de la L2MB se encuentra mayoritariamente subterráneo.

La PLMB implementó las colas de maniobra detrás de los terminales que sirven para retorno y estacionamiento: el espacio detrás de la estación terminal Calle 72 tiene cuatro plazos de estacionamiento, mientras que lo de Portal de las América tiene dos plazos. Estos plazos garantizan la flexibilidad de operación.

Sin embargo, la estación terminal Calle 72 de la L2MB no podría tener un espacio suficientemente grande para albergar dichos estacionamientos, a causa de la dificultad técnica de las obras civiles de esta zona. Se realizará un estudio para determinar el número de plazas de estacionamiento que da la dicha flexibilidad a la operación.

#### **2.2.2.5.4 Operación**

Las hipótesis para el tiempo de retorno adaptada por la PLMB fueron:

- 10 segundos para realizar el cambio de dirección;
- Aparatos de vía de 1/9 tg ubicados a 15 metros del inicio o fin del andén;
- Una velocidad de 40 km/h en toda la zona de maniobras detrás del andén de llegada;
- Tiempo técnico de 10 segundos cuando incluya movimiento del ADV y 7 segundos para desbloqueo del itinerario.

El mismo tiempo de retorno (tiempo de parada + tiempo de recorrido + tiempo técnico de inversión) que la PLMB puede adaptarse para la L2MB, pero la longitud del “aparato de vía” es más corto (56m y 69m), y eso obligaría a reducir la velocidad. Resulta que el tiempo de retorno de la L2MB es más largo que lo de la PLMB. Se tendrá que averiguar la configuración de la vía y analizar la factibilidad del tiempo de retorno de la L2MB.

#### **2.2.2.5.5. Conclusión**

Debido a la demanda elevada de pasajeros en el horizonte 2030, el intervalo va a ser más corto en la L2MB que en la PLMB, así que el tamaño de la flota del material rodante va a ser más grande o el intervalo debería reducirse aún más.

### 2.2.2.6 Revisión de experiencias internacionales y aplicación al caso de la Línea 2 del Metro de Bogotá

El presente capítulo tiene como objetivo de reunir y analizar los datos de operación de proyectos “similares” al Proyecto de Línea 2 del Metro de Bogotá. Los datos vienen de la experiencia de MOVIUS y más precisamente de SYSTRA en varios proyectos en el mundo.

Las líneas estudiadas son las siguientes:

Línea	País	Estado
Paris Línea 1	Francia	En operación automática desde 2013
Paris Línea 14	Francia	En operación desde 1998
Santiago de Chile, Líneas 3 y 6	Chile	L3: En operación desde 2019 L6: En operación desde 2017
São Paulo Línea 4	Brasil	En operación desde 2010
Dubái Línea Roja (Red Line)	EAU	En operación desde 2009

#### 2.2.2.6.1 París, Línea 1 (Francia)

La Línea 1 de París, puesta en servicio inicialmente en 1900 y automatizada en 2013, se caracteriza por su carga más importante de la red de metro de París.

El personal técnico de SYSTRA ha sido encargado de los estudios relacionados con la migración de los sistemas para pasar de tecnologías tradicionales hasta un CBTC UTO de última generación, apoyando a los equipos de la RATP en esas tareas.

Por otra parte, el personal de operación presentado en la oferta de SYSTRA ha estado a cargo de liderar los grupos de trabajo, encargados de desarrollar la supervisión del proceso de migración, así como los procesos de operación asociados, entre otros.

#### Características

- Rodadura neumática
- Subterráneo, 16.6 km de longitud con 25 estaciones
- Velocidad comercial: 27.7 km/h
- Capacidad del material rodante: 698 pasajeros/tren (6 coches)
- PPHPD: 25,000
- Intervalo mínimo operacional: 120 s

Esta línea tiene los estacionamientos detrás de los terminales para estacionar los trenes. Estacionar los trenes en la línea durante la noche no es posible porque hay demasiado circulaciones de trenes de mantenimiento.

#### **2.2.2.6.2 París, Línea 14 (Francia)**

La Línea 14 de París, puesta en servicio en 1998 en su tramo inicial, se caracteriza por su altísima fiabilidad y sus altos índices de calidad de servicio. Fue la única línea automática completa de metro pesado que se puso en servicio directamente en automatismo integral UTO, sin fase transitoria con conducción manual y sigue siendo una referencia a nivel mundial.

El personal de SYSTRA ha estado involucrado tanto en la concepción como en la operación y el mantenimiento de la Línea 14 del metro de París.

##### Características

- Rodadura neumática
- Subterráneo, 9.7 km de longitud con 9 estaciones
- Velocidad comercial: 40 km/h
- Capacidad del material rodante: 720 pasajeros/tren (6 coches)
- PPHPD: 25,000 (teóricamente 30,500)
- Intervalo mínimo técnico: 85s

La frecuencia de los trenes es muy elevada (85 s de intervalo = 42 trenes/hora) con una alta velocidad comercial (40 km/h), aunque el material rodante sea más ligero que la previsión para la L2MB (720 pasajeros/tren) y equipado con rodadura neumática.

Al inicio del servicio, los trenes están en las estaciones intermedias para reducir la distancia recorrida para los trenes sin viajeros.

#### **2.2.2.6.3 Santiago de Chile, Líneas 3 y 6 (Chile)**

La línea 3 de Santiago, puesta en servicio en 2019, es una línea de metro automático en Santiago. La línea 6 de Santiago, puesta en servicio en 2017, es la primera línea de metro automática en Santiago, que asegura el intercambio con otras líneas de metro de Santiago.

El personal de SYSTRA ha estado involucrado en la concepción y en la asistencia técnica de la operación y del mantenimiento.

#### Características de la línea 3

- Rodadura férrea
- Subterráneo, 21.7 km de longitud con 18 estaciones
- Capacidad del material rodante: 1,285 pasajeros/tren (5 coches)
- Capacidad de transporte: 48,400 pphpd
- PPHPD: información no disponible
- Intervalo técnico: 90s

#### Características de la línea 6

- Rodadura férrea
- Subterráneo, 15.3 km de longitud con 10 estaciones
- Capacidad del material rodante: 1,285 pasajeros/tren (5 coches)
- Capacidad de transporte: 48,400 pphpd
- PPHPD previsto: 14,389 (2018), 29,317(2048)
- Intervalo técnico: 90s

Estas líneas se operan con una alta frecuencia (hasta 90 s de intervalo) y con un material rodante de capacidad bastante elevada (1,285 pasajeros/tren). Esta pareja frecuencia / capacidad permite atender una demanda de 48.000 pphpd. La demanda de la L2MB siendo alrededor de 50.000 pphpd, se precisa que se deberá a la luz de los datos del Metro de Santiago disponer de trenes con mayor capacidad, considerando que el intervalo de 90s es un parámetro que es difícil disminuir.

#### **2.2.2.6.4 São Paulo, Línea 4 (Brasil)**

La línea 4 de São Paulo, puesta en servicio en 2010, es la primera línea de metro automático en América Latina. El proyecto se estructuró como Public-Private Partnership (PPP), en la forma de la concesión de 30 años a la empresa privada ViaQuatro.

El personal propuesto por SYSTRA ha intervenido en el marco del grupo concesionario para asistencia técnica de la construcción y puesta en servicio de la L4 del metro de Sao Paulo, específicamente para el manejo y la supervisión de los automatismos complejos, de las temáticas de las puertas de andén y para auditorías de operación.

#### Características

- Rodadura férrea
- Subterráneo, 12.8 km de longitud con 11 estaciones
- Capacidad del material rodante: 1.946 pasajeros/tren (6 coches; 128 m; 306 asientos = 15%)

- Capacidad de transporte: 77,840 pphpd
- Intervalo técnico: 90 s

Esta línea tiene una alta frecuencia (90 s de intervalo = 40 trenes/hora) con una grande capacidad (1.946 pasajeros/tren), que permite transportar un gran número de pasajeros (hasta 77,840 pphpd). Sin embargo, la alta capacidad del material rodante es posible en detrimento del número limitado de los asientos, que resulta una baja del nivel de confort a bordo.

#### 2.2.2.6.5 Dubái, Línea Roja (Emiratos Árabes Unidos)

La línea roja de Dubái, puesta en servicio en 2009, es la primera línea de metro automática en la península arábiga. Es la más larga línea de metro automática (con el sistema de CBTC) hoy.

##### Características

- Rodadura férrea
- Mayoritariamente elevado con una parte subterránea, 52.1 km de longitud con 29 estaciones
- Velocidad comercial: 42 km/h
- Capacidad del material rodante: 643 pasajeros/tren (5 coches)
- PPHPD: 26,000
- Intervalo mínimo técnico: 90 s

Esta línea no tiene los estacionamientos detrás de los terminales, tomando la decisión de estacionar los trenes en la línea por las siguientes principales razones:

- La longitud importante de la línea: los trenes son estacionados en andenes de estaciones para asegurar el número suficiente de trenes al inicio de la operación.
- La escasez de posiciones de estacionamiento suficiente en los terminales y en las cocheras.

En el caso de la L2MB, sería posible estacionar los trenes en las estaciones durante la noche y reducir el número de estacionamientos en la cola de maniobra detrás del terminal Calle 72. Sin embargo, teniendo cuenta de las experiencias internacionales, esta solución puede provocar los problemas siguientes:

- El mantenimiento de la vía durante la noche es más difícil porque los trenes estacionados impiden la circulación del vehículo de mantenimiento.
- La operación es menos robusta porque la inyección de trenes desde el lado del terminal Calle 72 no se puede hacer. Además, si hay un problema de trenes estacionando en las estaciones en la mañana, ellos bloquearían la totalidad de la línea y la operación va a ser imposible.

#### 2.2.2.6.6 Conclusiones

La revisión de las experiencias internacionales abordó las características operacionales de seis líneas automáticas del mundo. En términos de la demanda de pasajeros, la línea 4 de São Paulo puede ser una buena referencia para la L2MB, pero la alta frecuencia con un material rodante de una gran capacidad bajaría el nivel de confort de pasajeros, y la operación no sería suficientemente robusta para los incidentes. La línea 14 de París, por otra parte, es una buena práctica de metro automático y se opera con un material rodante más ligero que lo de la línea 4 de São Paulo y lo que está previsto para la Línea 2 de Metro de Bogotá.

### 2.2.2.7 Conclusiones generales

Los estudios de la prefactibilidad sobre la operación de la Línea 2 de Metro de Bogotá (L2MB) fueron desarrollados con base en la estimación de la demanda (carga máxima de 45.000 pphpd en 2030 y 50.000 pphpd en 2050; Entregable 4 y 10). El intervalo de los trenes (143 s en 2030 y 129 s en 2050) y el dimensionamiento del material rodante (7 coches, 145 m, 1800 pasajeros/tren) y de las infraestructuras fueron determinados para que la oferta se ajuste a la demanda.

Para elaborar el POP de la L2MB, se tendrá que atender los puntos siguientes:

1. Infraestructura: la necesidad de los estacionamientos en la cola de maniobra detrás del terminal Calle 72. La complejidad de las obras civiles en esta zona (centro de la ciudad) requiere una disminución de este espacio.
2. Material rodante: el dimensionamiento más preciso para evaluar la factibilidad de 1800 pasajeros/tren
3. Operación: la definición clara del tamaño de la flota de material rodante, del movimiento de los trenes (con pasajeros y vacíos) (y la estimación del OPEX que sigue), y del nivel de confort a bordo (averiguar la curva de velocidad). Los procedimientos describiendo los modos degradados.
4. Interoperabilidad: el requerimiento de la similitud de los materiales rodantes entre la línea 1 y 2 de metro de Bogotá. La interoperabilidad completa no será necesaria porque la conexión física entre las dos líneas no es prevista, pero el grado de la similitud debe ser definido teniendo en cuenta la posibilidad de un operador único y del ahorro de los costos de mantenimiento.

En relación con la PLMB, la concepción de la L2MB tiene que atender, entre otros, los puntos siguientes:

- La refuerza de la capacidad de transporte, tanto para un intervalo más corto como para un material rodante con una capacidad más grande, para servir la demanda de pasajeros más importante que el caso de la PLMB.
- Asimismo, el tamaño de la flota del material rodante tendría que ser más grande que el mismo de la PLMB.
- La cola de maniobras detrás de la estación terminal Calle 72 tendría que ser revisada, debido a la dificultad potencial de las obras civiles de la zona.