

Mayo de 2021

# 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

---





Mayo de 2021

# 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

Preparado por:

Unión Temporal Egis Steer  
Metro de Bogotá  
Carrera 15 #93a-62 Oficina 602  
Teléfono. 746 04 03  
Bogotá D.C. Colombia

+57 1 7460403

Preparado para:

Financiera de Desarrollo Nacional - FDN  
Av. Carrera 7 No. 71 - 42  
Torre B Piso 6  
Bogotá D.C. Colombia

Cliente ref: Contrato FDN 033 de 2020

Nuestra ref: 23858501

Este documento fue preparado por la Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá para Financiera de Desarrollo Nacional - FDN. La información contenida en este documento debe considerarse confidencial, cada destinatario reconoce la confidencialidad de la información aquí incluida y se compromete a no divulgarla de ninguna manera. Cualquier persona o institución que utilice cualquier parte de este documento sin el consentimiento expreso por escrito de Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá, se considerará que otorga su conformidad a indemnizar a la Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá por todas las pérdidas o daños que resulten de dicha utilización. La Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá ha llevado a cabo su propio análisis utilizando toda la información disponible en el momento de elaboración del presente documento y señala que la llegada de nuevos datos e información podría alterar la validez de los resultados y conclusiones que aquí se presentan. Por lo tanto, La Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá no se responsabiliza de los cambios en la validez de los resultados y conclusiones debido a eventos y circunstancias actualmente imprevisibles.



## Contenido

Glosario y abreviaturas .....	4
1 Introducción.....	1
Antecedentes .....	1
Descripción de la SLMB .....	2
2 Contexto.....	6
Contexto general.....	6
3 Alcance .....	7
Alcance del informe operación .....	7
4 Método general de dimensionamiento .....	8
5 Oferta de transporte .....	10
Hipótesis.....	10
Resultados.....	16
6 Tiempo de recorrido .....	17
Hipótesis y metodología .....	17
Resultados.....	21
7 Tamaño de la flota de material rodante .....	25
Hipótesis y metodología .....	25
Resultados.....	25
8 Horarios y kilometraje anual.....	27
Horarios de operación.....	27
Kilometraje anual .....	29
9 Plano de vías .....	31
Terminales.....	32
Aparatos de vía a lo largo de la línea .....	34
10 Sinergias entre la línea 1 y 2 .....	36
Resumen de las sinergias: Dos líneas de metro, el inicio de una red de metro .....	36
Sinergia de operación – Investigaciones.....	36
Sinergia de Mantenimiento .....	39

Sinergia de “Asset Management” .....	40
11 Sistema de señalización y Control de trenes .....	42
Descripción del sistema .....	42
Requisitos funcionales fundamentales .....	43
Requisitos para la sinergia con la PLMB T1 .....	44
12 Centro de Control Operacional .....	45
Descripción del sistema .....	45
Requisitos funcionales fundamentales .....	45
Requisitos para la Integración con la PLMB T1 .....	46
13 Puertas de Andén o Plataforma .....	47
Descripción General del sistema .....	47
Requisitos funcionales fundamentales .....	48
Requisitos técnicos para la Línea 2 .....	49
Requisitos para la Integración con la PLMB T1 .....	49
14 Alimentación eléctrica .....	50
Descripción General del sistema .....	50
Requisitos funcionales fundamentales .....	51
Requisitos técnicos para la línea 2 .....	53
15 Material Rodante .....	61
Descripción del sistema .....	61
Requisitos funcionales fundamentales .....	61
Requisitos para la Integración con la PLMB T1 .....	64
16 Sistema de Telecomunicaciones .....	67
Descripción de los sistemas .....	67
Requisitos fundamentales.....	70
Requisitos para la Integración con la PLMB T1 .....	73
17 Control de Pasajeros .....	74
Descripción del sistema .....	74
Requisitos funcionales fundamentales .....	75
Requisitos para la Integración con la PLMB T1 .....	76
18 Equipamiento electromecánico .....	78

Descripción del sistema .....	78
Requisitos fundamentales.....	80
Requisitos para la Integración con la PLMB T1 .....	82
19 Gestión de Interfaz e Integración .....	83

## Figuras

Figura 1.1 Esquema Cola de Maniobras.....	2
Figura 1.2 Alternativa de mejor desempeño Calle 72 – Av. Cali – ALO / Subterránea / Línea nueva	4
Figura 1.3 Patio Taller – Predio Fontanar del Río.....	5
Figura 4.4 Diagrama del método de cálculo de la flota del Material Rodante (MR). .....	9
Figura 5.5 Estimación de la oferta de transporte. ....	10
Figura 5.6 Escenarios de oferta.....	11
Figura 5.7 Evolución de la carga de los trenes durante la hora pico de la mañana en el año 2030 con la oferta 1 y en el año 2050 con la oferta 2 .....	13
Figura 6.8 Retorno en estación terminal – operación nominal. ....	24
Figura 9.9 Plano de vías de la línea 2 de metro. ....	31
Figura 9.10 Retorno detrás de la estación terminal – operación nominal. ....	32
Figura 9.11 Retorno antes de la estación terminal – operación perturbada.....	32
Figura 9.12 Posiciones de estacionamiento en el terminal Calle 72.....	33
Figura 9.13 Servicios parciales posibles en modo degradado. ....	34
Figura 10.14 Sistema de megafonía.....	38
Figura 13.15 Esquema Puertas de andén o plataforma Línea 2 .....	47
Figura 14.16 SER 1 Línea 2 .....	54
Figura 14.17 SER 2 Línea 2 .....	55
Figura 14.18 Consumo medio de potencia Línea 2.....	57
Figura 15.19 Curva de esfuerzo kN / velocidad del MR .....	64
Figura 15.20 Diagrama de las puertas del tren MF67 comparado con el MF77.....	65
Figura 15.21 Diagrama de las puertas del tren MF67.....	66
Figura 17.22 Diagrama de recaudo .....	75
Figura 17.23 límites de recaudo de peaje entre línea 1 y línea 2 .....	77
Figura 18.24 Sistema de ventilación túnel .....	81

Figura 19.25 interfaz con ciclo en “V”:	83
Figura 19.26 resumen de interfaces subsistemas principales	84

## Tablas

Tabla 5.1 Resultados de la estimación de la demanda – Carga máxima de la línea 2 en los horizontes 2030 y 2050.	11
Tabla 5.2 Flujos de pasajeros por estación en la hora pico de la mañana en 2030 (oferta 1).	12
Tabla 5.3 Flujos de pasajeros por estación en la hora pico de la mañana en 2050 (oferta 2).	12
Tabla 5.4 Intervalo en hora pico en función de las capacidades de cada tren.	14
Tabla 5.5 Oferta de transporte definida para la línea 2.	16
Tabla 6.6 Características del material rodante	18
Tabla 6.7 Tiempos de estacionamiento en la hora pico de la mañana (2030)	19
Tabla 6.8 Tiempos de estacionamiento en la hora pico de la mañana (2030)	20
Tabla 6.9 Tiempo de recorrido. Sentido Calle 72 > Fontanar	21
Tabla 6.10 Tiempo de recorrido. Sentido Fontanar > Calle 72	21
Tabla 6.11 Perfil de velocidad del tren – sentido Calle 72 > Fontanar	22
Tabla 6.12 Perfil de velocidad del tren – sentido Fontanar > Calle 72	23
Tabla 6.13 Velocidad comercial por sentido.	24
Tabla 7.14 Tamaño de la flota de material rodante	25
Tabla 8.15 Horarios para cada día tipo (año 2030)	27
Tabla 8.16 Horarios para cada día tipo (año 2050)	28
Tabla 8.17 . Kilometraje anual de la línea 2 en 2030.	29
Tabla 8.18 Kilometraje anual de la línea 2 en 2050	29
Tabla 11.19 criterios operativos de la línea 2	43
Tabla 14.20 Potencia media requerida Línea 2.	56
Tabla 14.21 potencia máxima	59
Tabla 15.22 Características de material rodante	62

## Glosario y abreviaturas

- ALO : Avenida longitudinal de occidente.
- HP : hora pico
- L1 : Línea 1 de Metro

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

- L2 : Línea 2 de Metro
- MR : Material Rodante
- PLMB : Primera Línea de Metro de Bogotá, también denominado línea 1.
- PPHPD : Pasajeros Por Hora y Por Dirección
- SER: Subestación Eléctrica
- SMLB : segunda línea del Mero de Bogotá



# 1 Introducción

## Antecedentes

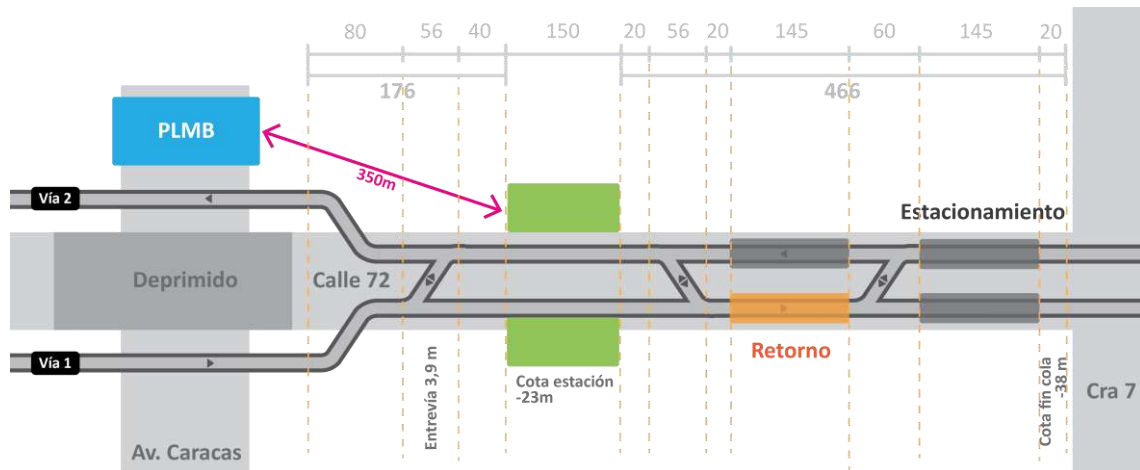
- 1.1 Bogotá como región capital, en aras de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, ha venido trabajando en la transformación de su infraestructura en materia de movilidad para todos los modos de transporte, con el fin de que funcionen perfectamente, mediante una programación y operación unificada. Para el caso del transporte público masivo y como parte de este proceso, se busca tener un Sistema Integrado de Transporte mucho más completo y armonioso que incluya varios tipos de servicios, es así como surge la incorporación del sistema metro como nueva opción de medio de transporte.
- 1.2 Bajo este entendido y enfocados en el marco de la red de transporte masivo, además de materializar el desarrollo de la primera línea de metro de Bogotá (PLMB), se proyecta robustecer dicho sistema identificando y teniendo en cuenta la zona de expansión a priorizar logrando el mayor beneficio para la ciudad.
- 1.3 Por tal razón se estructura la expansión de la Primera Línea de Metro de Bogotá - PLMB –T1 o Segunda Línea de Metro de Bogotá - SLMB, mediante el contrato FDN 033 de 2020 cuyo objeto es “Formulación, análisis y priorización de alternativas para la expansión del PLMB-T1, y elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de la alternativa seleccionada para la expansión de la PLMB-T1”.
- 1.4 El contrato 033 de 2020 establece una evaluación multidisciplinaria distribuida en tres (3) fases con diferentes niveles de detalle, que logra la definición de un corredor óptimo a nivel de prefactibilidad, articulando la operación de la extensión del Sistema Metro con la PLMB y otros proyectos de transporte de la Región Bogotá – Cundinamarca (Regiotram).
- 1.5 En una primera fase o fase uno (1) del contrato 033 de 2020, se realizaron los análisis correspondientes para definir la zona de expansión, la cual arrojó como resultado que la localidad de Suba es la zona o cuenca de la ciudad priorizada hacia donde debería ir la SLMB.
- 1.6 Una vez identificada la Zona de expansión priorizada, se busca conectar la PLMB con la Localidad de Suba, para lo cual se formularon diferentes alternativas de trazados, los cuales fueron desarrollados en la fase dos (2) de este estudio; es así como se obtiene la línea que discurre en los corredores de la Calle 72, Av. Cali y ALO., como la alternativa de mejor desempeño o mejor calificada mediante una metodología de evaluación por medio de una matriz multicriterio.
- 1.7 Posteriormente se configura el nodo de terminación, mediante la incorporación de diferentes opciones de localización de patio taller y se adelantó igualmente, una evaluación multicriterio para la zona norte del trazado, incluyendo en la evaluación el tramo de la Avenida Longitudinal de Occidente ALO, entre Av. Cali y Av. Suba, el cual arrojó como resultado para el nodo de terminación, el proyecto de expansión priorizado (PMLB - T2) con terminación en el polígono denominado “Fontanar del Río”, en el cual se implantará el patio-taller.

- 1.8 Finalmente, en la fase tres (3) del proyecto, se desarrollan los estudios de prefactibilidad técnica para esta alternativa, contenidos en los productos 4,5,6 y 7, definidos en los términos de referencia del contrato, el presente documento contiene el desarrollo del entregable 10 de la SLMB detallada a continuación:

## Descripción de la SLMB

- 1.9 La SLMB, presenta una infraestructura mixta mediante la incorporación de dos (2) tipologías de metro: subterráneo y elevado, con una longitud de 15.8 km aproximadamente. Esta línea, comprende además una cola de maniobras en su extremo oriental, 11 estaciones y un patio taller, discurriendo por los corredores de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba.
- 1.10 El K0+000 se localiza en la Calle 72 a 60 m al oriente de la Carrera 7, donde se contempla una cola de maniobras en tipología subterránea, la cual alberga la zona para maniobras de retorno con sus respectivos cambiavías y una zona para parqueo con capacidad para albergar tres trenes, todo ello con el fin de permitir una adecuada operación de la SLMB, ver Figura 1.1; después de la cola de maniobras, encontramos la estación No. 1 ubicada en la Calle 72 entre las abscisas K0+466 a la K0+616, estación que servirá de integración con los modos de transporte masivo TransMilenio (estación calle 72) y la Primera Línea de Metro de Bogotá PLMB (Estación 16 ).

Figura 1.1 Esquema Cola de Maniobras



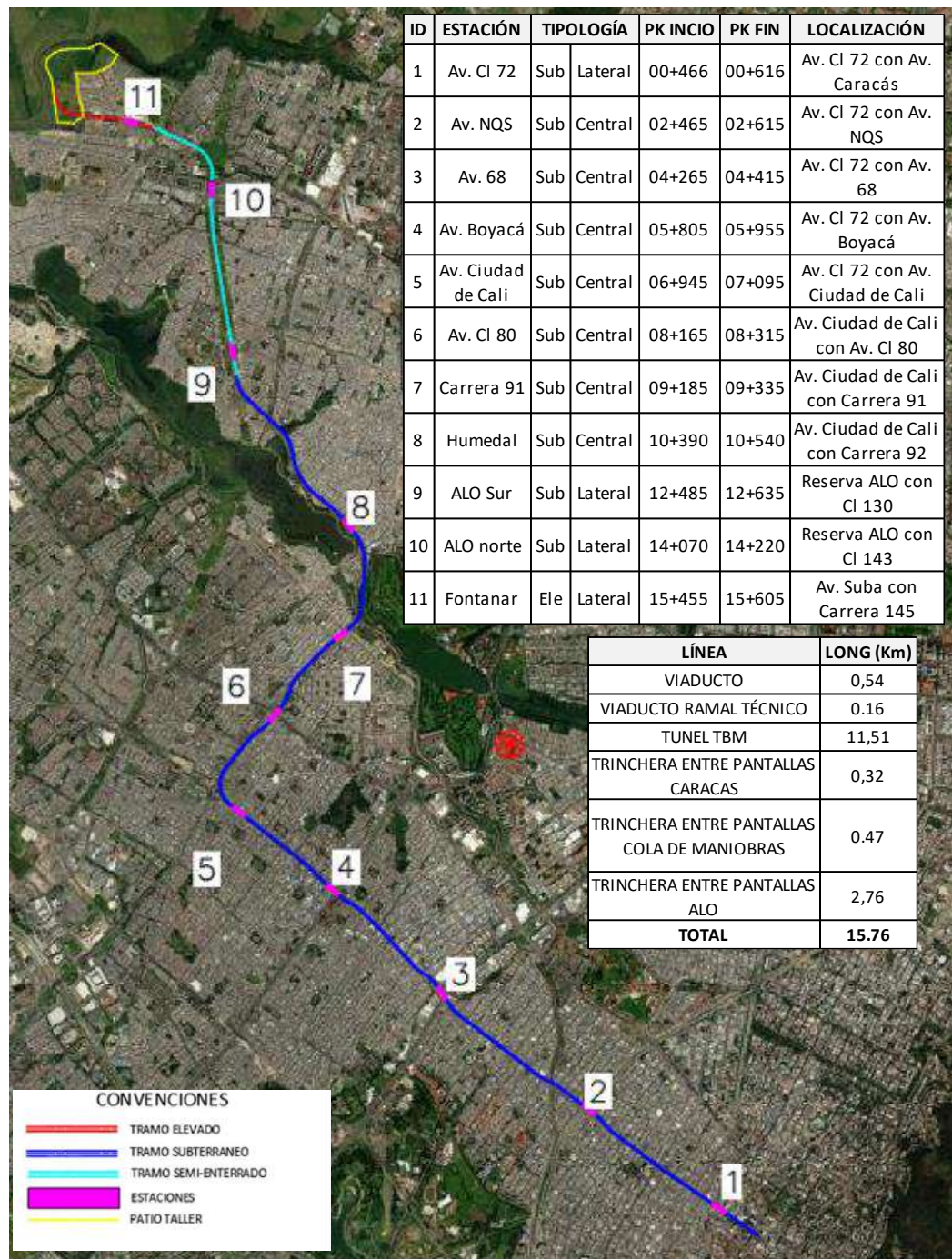
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 1.11 Al occidente de la Avenida Caracas en el corredor de la Calle 72, se proyecta el primer tramo subterráneo de la SLMB mediante la construcción de dos (2) túneles de 7 m de diámetro cada uno, aproximadamente, tipología que continúa hasta llegar a la actual reserva de la ALO.
- 1.12 La estación N° 2 se localiza entre el K2+465 y el K2+615, a la altura de la calle 72 con la Avenida Ciudad de Quito o Carrera 30, estación que tendrá integración con el proyecto de Regiotram Norte y el TransMilenio de la NQS. La estación N° 3 se encuentra localizada entre las abscisas K4+265 al K4+415, a la altura de la intersección de la Calle 72 costado sur con la Avenida 68, estación que tendrá integración con la futura Estación de la Troncal de TransMilenio de la Av. 68. La estación N° 4 se localiza entre las abscisas K5+805 al K5+955, sobre el mismo costado en el cruce de la Calle 72

con la Avenida Boyacá. La estación N° 5 la última sobre el corredor de la calle 72 se ubica entre las abscisas K6+945 a la K7+095.

- 1.13 Posteriormente, el alineamiento toma dirección norte por el eje de la Avenida Ciudad de Cali o carrera 86, hasta la calle 75 donde toma el costado oriental del corredor para llegar a la estación N° 6 localizada entre las abscisas del K8+165 al K8+315, en inmediaciones del cruce con la Avenida Calle 80, posteriormente por este mismo corredor se llega a la estación N° 7 ubicada entre las abscisas K9+185 al K9+335, a la altura de la calle 90, la estación N° 8) se encuentra ubicada entre el K10+390 al K10+540, al costado norte en la reserva del futuro proyecto de la Troncal TransMilenio de la Avenida Ciudad de Cali a la altura de la carrera 93.
- 1.14 En la Av. Ciudad de Cali a la altura de la carrera 103 se cruza el barrio Nueva Colombia para encontrar la reserva de la ALO. En la reserva de la ALO se cambia el alineamiento vertical, elevando la rasante de la línea para lograr una profundidad aproximada de 7 metros lo que permite modificar el sistema constructivo pasando de excavación con tuneladora a excavación abierta en trinchera.
- 1.15 Sobre la reserva vial de la ALO se localiza la estación N° 9 ubicada entre las abscisas K12+485 al K12+635 a la altura de la calle 130. La estación N° 10) se localiza entre las abscisas K14+070 al K14+220 a la altura de la calle 134 A, en este punto la línea discurre al occidente por la Calle 145 o Transversal de Suba pasando de tipología semienterrada a tipología elevada, a partir de la abscisa K15+060.
- 1.16 La estación N° 11 se localiza entre las abscisas K15+455 al K15+605, esta estación está proyectada con tipo mezzanine con una cota riel aproximada de 9 m sobre el terreno existente, el planteamiento anteriormente descrito, se detalla en la siguiente Figura 1.2:

Figura 1.2 Alternativa de mejor desempeño Calle 72 – Av. Cali – ALO / Subterránea / Línea nueva



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

1.17 Desde la estación 11, la línea discurre elevada hasta llegar a inmediaciones del polígono denominado “Fontanar del Río” destinado para la instalación del patio-taller, cuya localización se detalla en la siguiente Figura 1.3 .



## 2 Contexto

### Contexto general

- 2.1 Este informe, forma parte de los entregables de la fase 3 (diseño a nivel de prefactibilidad) del proyecto de Segunda Línea del Metro de Bogotá (SLMB).
- 2.2 Las dos primeras fases de estudios, “fase 1 – formulación de alternativas” y “fase 2 – análisis de alternativas”, permitieron seleccionar una alternativa de trazado preferido para su estudio y diseño al nivel de prefactibilidad en la fase 3. Esta alternativa tiene las siguientes características principales:
  - La segunda línea de metro es independiente de la PLMB, con una integración al tramo 1 de la PLMB en la zona de Calle 72 por Av. Caracas para los pasajeros.
  - La segunda línea es una línea de metro completamente automática (grado de automatización GoA4). No tiene conexión ferroviaria con la línea 1, por lo que la línea 2 tiene su propio patio taller para el mantenimiento de los trenes y de las infraestructuras.

# 3 Alcance

## Alcance del informe operación

3.1 Este informe presenta el dimensionamiento operacional a nivel de pre-factibilidad para la alternativa de trazado seleccionada en las anteriores fases del estudio, y el plan de vías de la línea 2. El dimensionamiento operacional es un elemento importante para el diseño del proyecto de la línea 2 de metro, ya que permite definir unas características importantes, entre ellas el número de trenes. El informe incluye los siguientes elementos:

- Dimensionamiento de la oferta de transporte: capacidad, tamaño de los trenes e intervalo de operación para satisfacer la demanda de transporte.
- Estimación de los tiempos de recorridos.
- Dimensionamiento de la flota de material rodante (número de trenes).
- Producción kilométrica anual.
- Plano de vías.

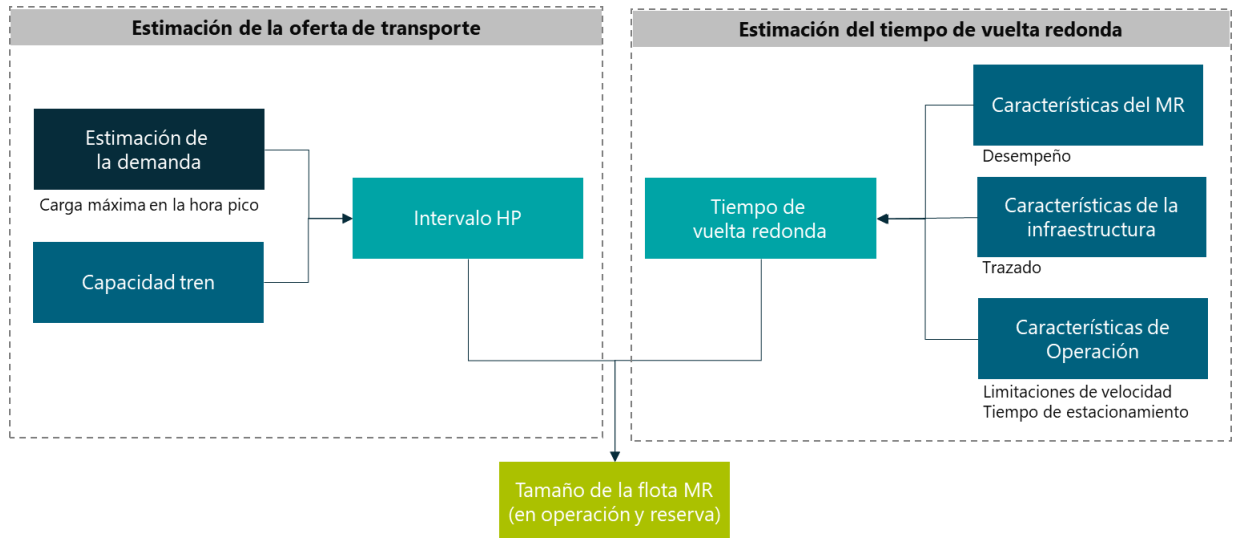
## 4 Método general de dimensionamiento

4.1 El dimensionamiento de la flota de material rodante se realiza de la siguiente manera:

- Etapa 1: estimación de la oferta de transporte.
  - Se calcula la capacidad de trenes y el intervalo operacional necesarios para responder a la demanda estimada por el modelo de tráfico.
  - El dimensionamiento se realiza para los cortes temporales de los años 2030 y 2050, asegurando así la oferta mínima necesaria para satisfacer la demanda al momento de la apertura y soportar los aumentos de tráfico de la línea previstos en el año 2050.
- Etapa 2: estimación de los tiempos de recorrido y el tiempo de vuelta redonda
  - A partir de las características del material rodante, del trazado y de las condiciones operacionales (limitaciones de velocidad, tiempos de parada en estaciones, tiempos de maniobras de retorno), se calcula el tiempo de recorrido entre las estaciones terminales y la velocidad comercial de la línea.
- Etapa 3: cálculo de la flota de material rodante.
  - La cantidad de trenes en operación depende de la duración de la vuelta redonda y del intervalo operacional en la hora pico. La flota total del material rodante incluye igualmente los trenes previstos para reserva de operación y mantenimiento, estimado en un 15% de la flota requerida.



**Figura 4.4 Diagrama del método de cálculo de la flota del Material Rodante (MR).**



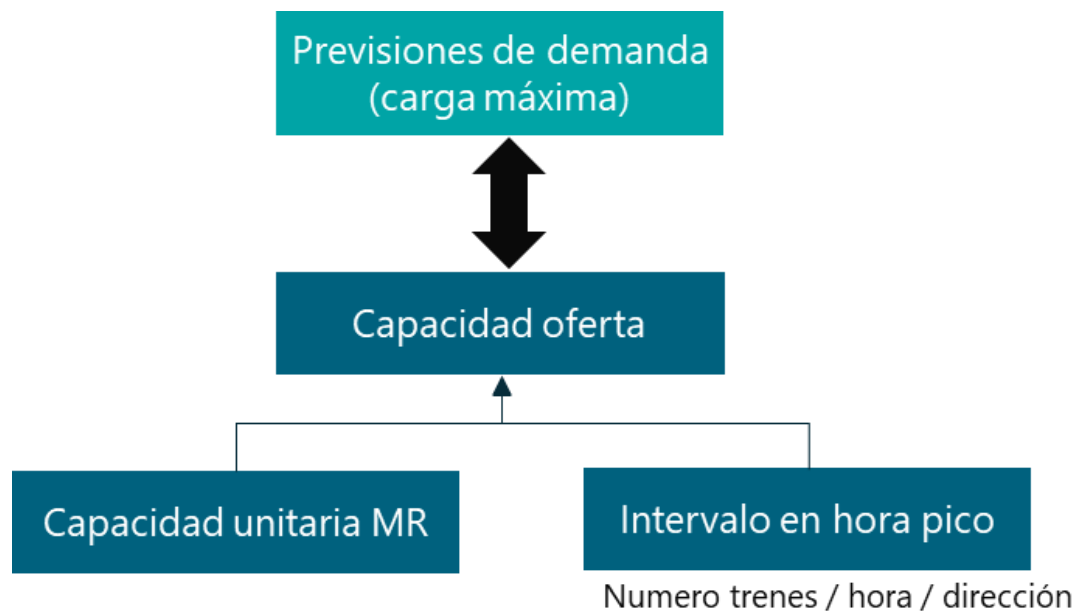
Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

- 4.2 Además, se ha calculado la producción kilométrica anual de la línea a partir de la tabla de horarios. El kilometraje anual es un dato de entrada para el cálculo de los costos de operación y mantenimiento (OPEX).

## 5 Oferta de transporte

- 5.1 La oferta de transporte debe responder a la carga máxima de la línea, estimada mediante el modelo de tráfico. Esta carga se expresa en PPHPD (Pasajeros Por Hora Por Dirección). La oferta de transporte se calcula según la demanda de la hora pico de la mañana, momento en el que se presenta la mayor frecuentación en el sistema. La capacidad que ofrece la línea corresponde al número de trenes por hora y por sentido, multiplicado por la capacidad de cada tren.

Figura 5.5 Estimación de la oferta de transporte.



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

### Hipótesis

- 5.2 La estimación de la oferta de transporte se basa en las siguientes hipótesis:

#### Estimación de la demanda

- 5.3 Las previsiones de tráfico son un dato de entrada fundamental para dimensionar el sistema de transporte. El modelo de tráfico realizado permitió definir la carga máxima de la línea 2 en la hora pico de la mañana para los horizontes de los años 2030 y 2050 en función de tres escenarios de oferta construidos a partir de diferentes hipótesis de desarrollo de proyectos de transporte en la aglomeración de Bogotá (ver el cuadro a continuación). La carga máxima corresponde al tramo o inter-estación más cargado en toda la línea.

**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

5.4 El contenido de cada escenario de oferta es el siguiente:

**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> <li>• - PLMB-T1</li> </ul> </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

5.5 La apertura de la línea 2 del metro de Bogotá corresponde al horizonte 2030 de las previsiones de demanda. El año 2050 es considerado como un horizonte a largo plazo. Se ha acordado con la FDN y la EMB (reunión del 2 de marzo 2021, ACTA 110 – CONTRATO 033 DE 2020) que el dimensionamiento operacional (especialmente el tamaño de la flota de material rodante) será realizado con los resultados del escenario “oferta 1” para el caso del año 2030 y los resultados del escenario “oferta 2” en el año 2050, ya que corresponden a la demanda más probable, es decir:

- Carga máxima para el año 2030: 45 358 PPHPD
- Carga máxima para el año 2050: 50 210 PPHPD

5.6 La carga máxima de 61 286 PPHPD en el escenario “oferta 1” en el horizonte 2050, representa el caso más crítico y equivaldría a un nivel de demanda menos probable.. Se puede notar que esta carga máxima corresponde a un aumento de 35% de la carga máxima definida para el año 2030.

5.7 La carga máxima de la línea 2 varía significativamente entre los diferentes escenarios del modelo de tráfico. Por este motivo se recomienda confirmar en las futuras etapas del proyecto las previsiones de demanda y la carga máxima de la línea, especialmente para un horizonte a largo plazo, y actualizar el dimensionamiento del sistema de ser necesario.

5.8 El detalle de los datos de flujo de pasajeros por estación (ascensos, descensos y carga) en el año 2030 con la oferta del escenario 1 y en el año 2050 con la oferta del escenario 2 se presenta a continuación.

Tabla 5.2 Flujos de pasajeros por estación en la hora pico de la mañana en 2030 (oferta 1)

		Flujos de pasajeros en hora pico de la mañana - 2030 (oferta 1)					
		Sentido sur-norte			Sentido norte-sur		
Estación		Ascensos	Descensos	carga	Ascensos	Descensos	carga
Estación 01	Est.1 - Calle 72	13 208	-	13 208	-	21 340	(0)
Estación 02	Est.2 - NQS	2 830	4 176	11 861	1 590	23 196	21 340
Estación 03	Est.3 - CR 68	1 462	1 847	11 476	1 635	4 046	42 946
Estación 04	Est.4 - Av. Boyacá	37	2 366	9 147	1 353	628	45 358
Estación 05	Est.5 - Cali	332	1 750	7 729	7 014	949	44 633
Estación 06	Est.6 - Cl 80	395	652	7 472	1 786	1 377	38 567
Estación 07	Est.7 - Cr 91	178	1 437	6 212	9 068	195	38 159
Estación 08	Est.8 - Humedal	-	1 899	4 313	4 207	7	29 286
Estación 09	Est.9 - ALO Sur	39	1 999	2 354	12 140	23	25 085
Estación 10	Est.10 - ALO norte	-	1 289	1 065	8 306	-	12 968
Estación 11	Est.11 - Fontanar	-	1 065	(0)	4 663	-	4 663

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

Tabla 5.3 Flujos de pasajeros por estación en la hora pico de la mañana en 2050 (oferta 2)

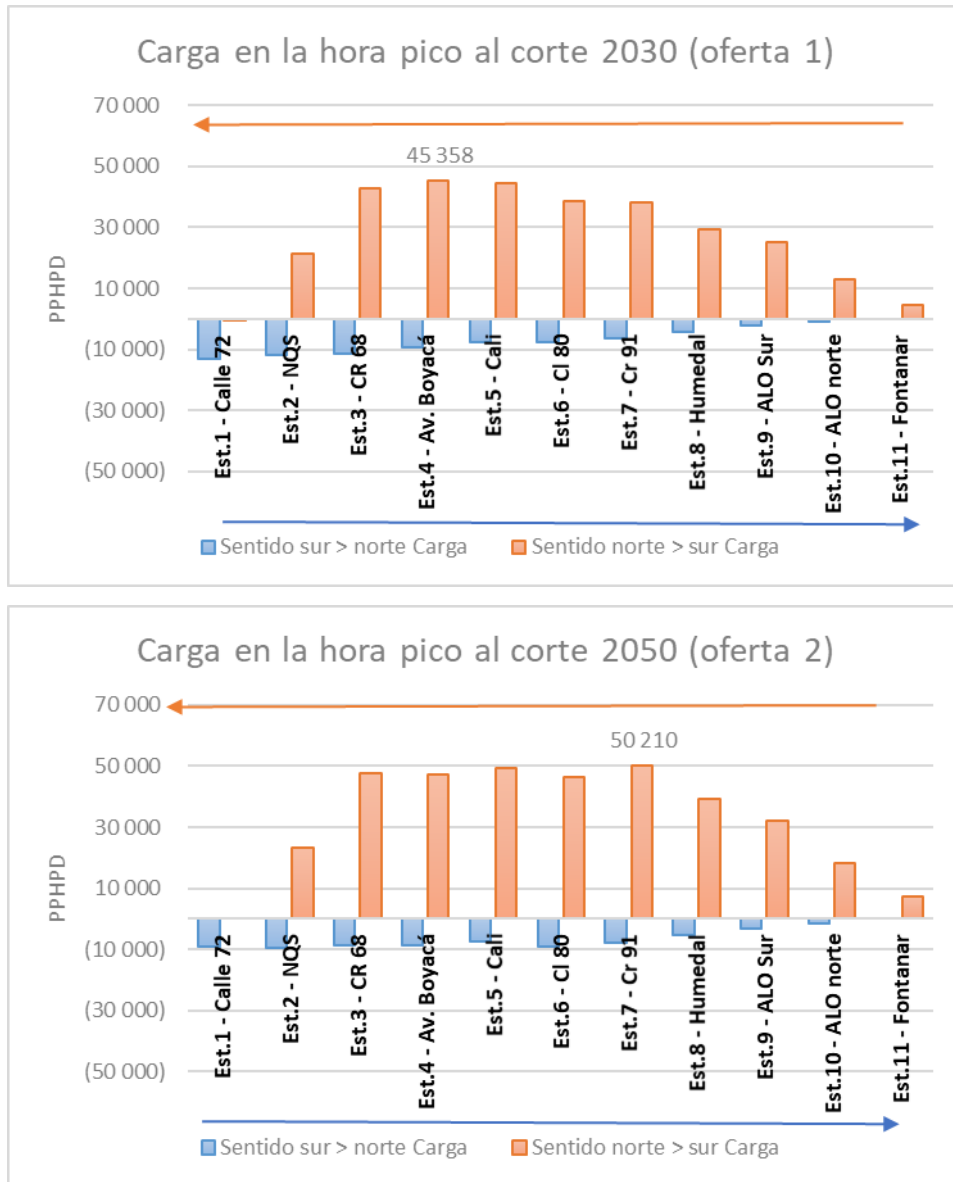
		Flujos de pasajeros en hora pico de la mañana - 2050 (oferta 2)					
		Sentido sur-norte			Sentido norte-sur		
Estación		Ascensos	Descensos	carga	Ascensos	Descensos	carga
Estación 01	Est.1 - Calle 72	9 225	-	9 225	-	23 452	0
Estación 02	Est.2 - NQS	3 653	3 386	9 491	2 278	26 438	23 452
Estación 03	Est.3 - CR 68	208	982	8 716	1 674	1 249	47 611
Estación 04	Est.4 - Av. Boyacá	1 426	1 559	8 584	2 297	4 453	47 186
Estación 05	Est.5 - Cali	264	1 326	7 521	4 054	1 011	49 342
Estación 06	Est.6 - Cl 80	2 754	1 008	9 267	2 298	6 209	46 299
Estación 07	Est.7 - Cr 91	299	1 756	7 810	11 445	562	50 210
Estación 08	Est.8 - Humedal	4	2 526	5 288	7 308	113	39 327
Estación 09	Est.9 - ALO Sur	39	2 248	3 079	14 014	75	32 132
Estación 10	Est.10 - ALO norte	-	1 705	1 374	11 059	-	18 193
Estación 11	Est.11 - Fontanar	-	1 374	(0)	7 135	-	7 135

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

5.9 Los siguientes diagramas muestran la evolución de la carga de los trenes durante la hora pico de la mañana en el año 2030 con la oferta 1 y en el año 2050 con la oferta 2. En 2030, el tramo más

cargado de la línea se observa entre las estaciones 5 y 4 (Av Ciudad de Cali y Av. Boyacá) en el sentido norte-sur (Fontanar a Calle 72). En 2050, el tramo más cargado de la línea se observa entre las estaciones 7 y 8 en el sentido norte-sur.

Figura 5.7 Evolución de la carga de los trenes durante la hora pico de la mañana en el año 2030 con la oferta 1 y en el año 2050 con la oferta 2



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

**Observación sobre las previsiones de demanda de la línea 1**

Según los resultados del modelo de tráfico utilizado para los estudios de la línea 2, la carga máxima de la PLMB en la hora pico al horizonte 2050 es de aproximadamente 70 000 PPHPD. Sin embargo, los estudios operacionales de la línea 1 indican que la capacidad teórica de la línea, entre Carrera 96 y Calle 72, es de 72 000 PPHPD, considerando trenes con una capacidad de 1800 pasajeros y un intervalo mínimo de operación de 100 segundos. Así, según los resultados del modelo de tráfico, la PLMB-T1 puede llegar a su saturación en el año 2050. Esta saturación podría significar una disminución de la demanda de la línea 2, dado el gran número de pasajeros que realizan transbordo entre de la línea 1 a la línea 2 en la estación de la Calle 72.

**Material rodante**

5.10 Las características del material rodante han sido ajustadas respecto a los trenes previstos para la línea 1 del metro. Se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis:

- 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 línea 1).
  - 125m, correspondiente a un tren de 6 vagones (un vagón menos respecto a la línea 1).
  - 165m, correspondiente a un tren de 8 vagones (un vagón más respecto a la línea 1).
- 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 línea 1)
  - Trenes de 125m: 1543 pasajeros
  - Trenes de 165m: 2057 pasajeros

5.11 Con base en estas capacidades, la siguiente tabla presenta el intervalo mínimo de operación necesario para satisfacer la demanda de tráfico.

**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

Carga máxima e intervalo por tipo de tren	2030 (oferta 1)	2050 (oferta 2)	2050+ (oferta 1) Objetivo capacidad para dimensionamiento infraestructuras
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

5.12 El intervalo en la hora pico debe ser mayor o igual al intervalo mínimo de operación de la línea, el cual depende de diferentes parámetros (trazado de la línea, configuración de las terminales, rendimiento del tren, tiempo de estacionamiento, etc.). En este nivel de estudio, se consideró que el intervalo mínimo operable de la línea 2 era similar al estimado en la línea 1, ya que las características entre las dos líneas son semejantes (rendimiento del tren, configuración y principio de retorno en las estaciones terminales). El intervalo mínimo de operación estimado en la línea 1 es de 100s (intervalo de la línea dimensionado por el intervalo mínimo de retorno en la estación terminal Calle 72).

5.13 Teniendo en cuenta este intervalo mínimo de operación para la línea 2, se concluye que:

- Los trenes de 125m no satisfacen la demanda máxima al horizonte 2050 del escenario más crítico “oferta 1” (necesidad de un intervalo de 91s, inferior a 100s).
- Los trenes de 145m y 165m satisfacen la demanda máxima al horizonte 2050 del escenario más crítico, el escenario “oferta 1”. **Sin embargo, con trenes de 145m se requiere un intervalo de 106s, muy cercano al límite permitido por el sistema.**

5.14 **Para el dimensionamiento de la infraestructura (en especial la longitud de las estaciones y vías en patio taller), la opción de trenes de 165m es la que teóricamente presenta mayor margen a largo plazo y, por lo tanto, la opción más prudente, ya que con trenes de 145m se llega cerca al límite de la capacidad máxima del sistema. Sin embargo, dada las incertidumbres de las previsiones de la demanda a largo plazo y para no sobredimensionar la infraestructura, se decidió para estos estudios de pre factibilidad mantener el dimensionamiento de la infraestructura con trenes de longitud 145m (en particular la misma longitud de las estaciones y de las vías del patio taller). El dimensionamiento operativo para los horizontes 2030 y 2050 se realiza también considerando trenes de 145m de longitud.**

5.15 Así los trenes de 145m de largo permiten satisfacer las cargas máximas retenidas:

- Carga máxima para el año 2030 (oferta 1): 45 358 PPHPD
- Carga máxima para el año 2050 (oferta 2): 50 210 PPHPD

- 5.16 **Se recomienda confirmar en las futuras etapas del proyecto las previsiones de demanda y el objetivo de carga máxima de la línea para el dimensionamiento de las infraestructuras. En caso de un aumento del objetivo de carga máxima más allá de la hipótesis actual de aproximadamente 61.000 PPHPD, se debería considerar infraestructuras que permiten la circulación de trenes con mayor capacidad (por ejemplo, trenes de 165m).**

## Resultados

- 5.17 Con base en las hipótesis presentadas anteriormente, la oferta de transporte se presenta a continuación.

Tabla 5.5 Oferta de transporte definida para la línea 2.

	2030 (oferta 1)	2050 (oferta 2)
Carga máxima en la hora pico (PPHPD)	45 358	50 210
Longitud y capacidad de los trenes	Trenes de 145m de longitud y de capacidad 1800 pasajeros (6pax/m <sup>2</sup> )	
Intervalo de operación requerido en la hora pico	143s	129s

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

Nota : A título informativo, el intervalo requerido considerando la carga máxima en la hora pico de 2050 con la oferta 1 (61 286 PPHPD) sería de 106s.



## 6 Tiempo de recorrido

### Hipótesis y metodología

6.1 El tiempo de recorrido se define como el tiempo que tarda un tren en recorrer cierta distancia durante la operación comercial del sistema. En él se incluyen:

- Tiempo de recorrido mínimo entre las estaciones.
- Margen de distensión y de regulación.
- Tiempo de parada en las estaciones.

6.2 El tiempo de recorrido comercial se calcula a partir del momento en el que el tren sale de la primera estación terminal (ya cerradas las puertas) hasta el momento en el que llega a la última estación terminal de servicio (cuando se abren las puertas). Los tiempos de estacionamiento en la primera y última estación se integran directamente en el tiempo de retorno, y no se incluyen en el tiempo comercial entre terminales.

6.3 El tiempo de recorrido fue calculado mediante un software desarrollado por Egis, SIMONE, el cual permite determinar velocidades y tiempos de recorrido de sistemas tipo metro. Este software ha sido utilizado por EGIS para varios estudios operacionales de proyectos de metro (Lyon, “Gran Paris Express”, Belgrado, Lausana, Medina, Dubái, Mumbai, etc.). El cálculo fue realizado en ambos sentidos de circulación.

### Características del trazado

6.4 Para el cálculo del tiempo de recorrido se utilizaron las características del trazado de la línea 2 del metro de Bogotá (ver detalle sobre el trazado en el entregable del producto 5 – diseño geométrico)

- Trazado en planta (distancias entre estaciones, longitud de segmentos rectos, enlace de curva y curvas)
- Trazado en perfil (pendientes)

## Material Rodante

6.5 A continuación, se presentan las características del material rodante.

**Tabla 6.6 Características del material rodante**

Características material rodante		
Longitud total del tren (6 o 7 coches)		145m
Norma de comodidad		6 pasajeros/m <sup>2</sup>
Capacidad por tren, respetando la norma de comodidad		1800 pasajeros
Ancho del tren		2,9m
Número de puertas por coche, por lado		4
Ancho libre mínimo por puerta doble		1,4m
Velocidad máxima de servicio		80 km/h
Masa en vacío		276 toneladas
Masa rotacional		10%
Masa con pasajeros (6 pax/m <sup>2</sup> )		126 toneladas
Frenado de servicio		1 m/s <sup>2</sup>
Aceleración máxima		1,1 m/s <sup>2</sup>
Esfuerzo resistente = $A + B \cdot V + C \cdot V^2$	A	6236,54 N
	B	45,42 N*h/km
	C	0,93 N*h <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>

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

## Condiciones de operación

6.6 A continuación, se presentan las características consideradas

- Límites de velocidad:
  - Velocidad máxima de operación: 80 km/h (velocidad máxima que podrá ser alcanzada en vía principal, cuando no hay reducción de velocidad debido al trazado).
  - En las curvas horizontales la velocidad es adaptada según su radio y la longitud del enlace de curva, con el fin de conservar el confort de los pasajeros. Los límites de velocidad en curvas están definidos en el entregable del producto 5 – diseño geométrico. El trazado tiene relativamente pocas curvas que impliquen un límite de velocidad inferior a 80km/h:
    - Unas curvas de radio 310m con un límite de velocidad de 78 km/h;
    - Una curva de radio 250m con un límite de velocidad de 70 km/h;

- Las velocidades se suavizan, es decir que se disminuye la velocidad máxima permitida con el fin de evitar la aceleración y desaceleración de manera muy frecuente en cortas distancias, generando así molestias para los pasajeros.
- Tiempo de distensión: se adiciona el 5% del tiempo mínimo inter-estación. Este tiempo se agrega con el propósito de considerar un comportamiento del sistema más cercano a la realidad, ya que el resultado de la simulación es un tiempo óptimo de recorrido (marcha tendida) en el que se tiene en cuenta el rendimiento técnico máximo del material rodante.
- Tiempo de regulación: se añade un margen sobre el tiempo de recorrido con fines de regulación. Se añaden 5 segundos por kilómetro al tiempo de recorrido. Este margen es necesario para recuperar retraso de menor magnitud y así asegurar la robustez de la operación;

6.7 Se añaden a los tiempos de recorridos entre estaciones, los tiempos de parada en cada estación. Los tiempos de parada fueron calculados de acuerdo al número de descensos y ascensos en el tren en la hora pico (ver Tabla 5.2 y Tabla 5.3 presentadas anteriormente) y a las características del material rodante. En cada estación, el tiempo de parada se compone de:

- Un tiempo técnico fijo de 8 segundos que corresponde a la suma del tiempo de apertura de las puertas, del tiempo de señal de cierre y del tiempo de cierre de las puertas.
- Un tiempo variable dependiendo del número de descensos y ascensos en la estación. Para la estimación de este tiempo, se considera:
  - 4 puertas dobles por cada costado del vagón de ancho libre 1,4m (para este cálculo específicamente se considera 7 vagones por tren o sea un total de 28 puerta por tren).
  - Un flujo de 1,365 pasajeros / metros / segundos según la norma de la NFPA 130
  - Un coeficiente de penalización del 20% sobre el número de descensos y ascensos para tener en cuenta la distribución desigual de los usuarios en los andenes y en el interior de los trenes.
- Se considera un tiempo de parada total mínimo de 20s para las diferentes estaciones y un tiempo mínimo de 30s en el andén de llegada de la estación terminal (tiempo adicional para verificar que ningún pasajero quede dentro del tren previo a la realización de la maniobra de retorno)
- Los tiempos obtenidos se redondean al múltiplo de 5 superior más cercano.

6.8 A continuación, se presentan los tiempos de parada estimados por estación:

**Tabla 6.7 Tiempos de estacionamiento en la hora pico de la mañana (2030)**

<b>Tiempo de estacionamiento - Hora pico mañana (s) – Horizonte 2030 (oferta 1)</b>			
<b>Número</b>	<b>Estación</b>	<b>sentido sur-norte (Calle 72 &gt; Fontanar)</b>	<b>sentido norte-sur (Fontanar &gt; Calle 72)</b>
1	Calle 72	20	30
2	NQS	20	35
3	CR 68	20	20
4	Av. Boyacá	20	20
5	Cali	20	20
6	Cl 80	20	20
7	Cr 91	20	20

<b>Tiempo de estacionamiento - Hora pico mañana (s) – Horizonte 2030 (oferta 1)</b>			
<b>Número</b>	<b>Estación</b>	<b>sentido sur-norte (Calle 72 &gt; Fontanar)</b>	<b>sentido norte-sur (Fontanar &gt; Calle 72)</b>
8	Humedal	20	20
9	ALO Sur	20	20
10	ALO norte	20	20
11	Fontanar	30	20

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

**Tabla 6.8 Tiempos de estacionamiento en la hora pico de la mañana (2030)**

<b>la hora pico de la mañana (2050)Tiempo de estacionamiento - Hora pico mañana (s) – Horizonte 2050 (oferta 2)</b>			
<b>Número</b>	<b>Estación</b>	<b>sentido sur-norte (Calle 72 &gt; Fontanar)</b>	<b>sentido norte-sur (Fontanar &gt; Calle 72)</b>
1	Calle 72	20	30
2	NQS	20	35
3	CR 68	20	20
4	Av. Boyacá	20	20
5	Cali	20	20
6	Cl 80	20	20
7	Cr 91	20	20
8	Humedal	20	20
9	ALO Sur	20	20
10	ALO norte	20	20
11	Fontanar	30	20

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

## Resultados

### Tiempo de recorrido comercial

- 6.9 Los resultados de los tiempos de recorrido se presentan en las tablas a continuación. Estos tiempos son válidos para el horizonte 2030 y el horizonte 2050 (mismo tiempo de recorrido entre estaciones y mismo tiempo de estacionamiento en las estaciones).

Tabla 6.9 Tiempo de recorrido. Sentido Calle 72 > Fontanar

N°	Estación	PK frente del tren (m)	Distancia interestación (m)	Marcha tendida (s)	Tiempo de distensión (s)	Tiempo de regulación (s)	Tiempo Total de trayecto interestación (s)	Velocidad interestación (km/h)	Tiempo de parada en estación (s)	Llegada (hh:mm:ss)	Partida (hh:mm:ss)
1	Calle 72	844	-	-	-	-	-	-	-	-	00:00:00
2	NQS	2819	1975	115	5,8	10	131	54,4	20	00:02:11	00:02:31
3	CR 68	4618	1799	108	5,4	9	122	52,9	20	00:04:33	00:04:53
4	Av. Boyacá	6138	1520	95	4,8	8	107	51,0	20	00:06:40	00:07:00
5	Cali	7303	1165	79	4,0	6	89	47,2	20	00:08:29	00:08:49
6	Cl 80	8522	1219	83	4,2	6	93	47,1	20	00:10:22	00:10:42
7	Cr 91	9540	1018	72	3,6	5	81	45,4	20	00:12:03	00:12:23
8	Humedal	10742	1202	79	4,0	6	89	48,6	20	00:13:52	00:14:12
9	ALO Sur	12838	2096	120	6,0	10	136	55,3	20	00:16:29	00:16:49
10	ALO norte	14424	1586	97	4,9	8	110	52,0	20	00:18:38	00:18:58
11	Fontanar	15808	1384	90	4,5	7	101	49,1	-	00:20:40	-

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

- 6.10 Tiempos de recorrido sentido Fontanar – calle 72

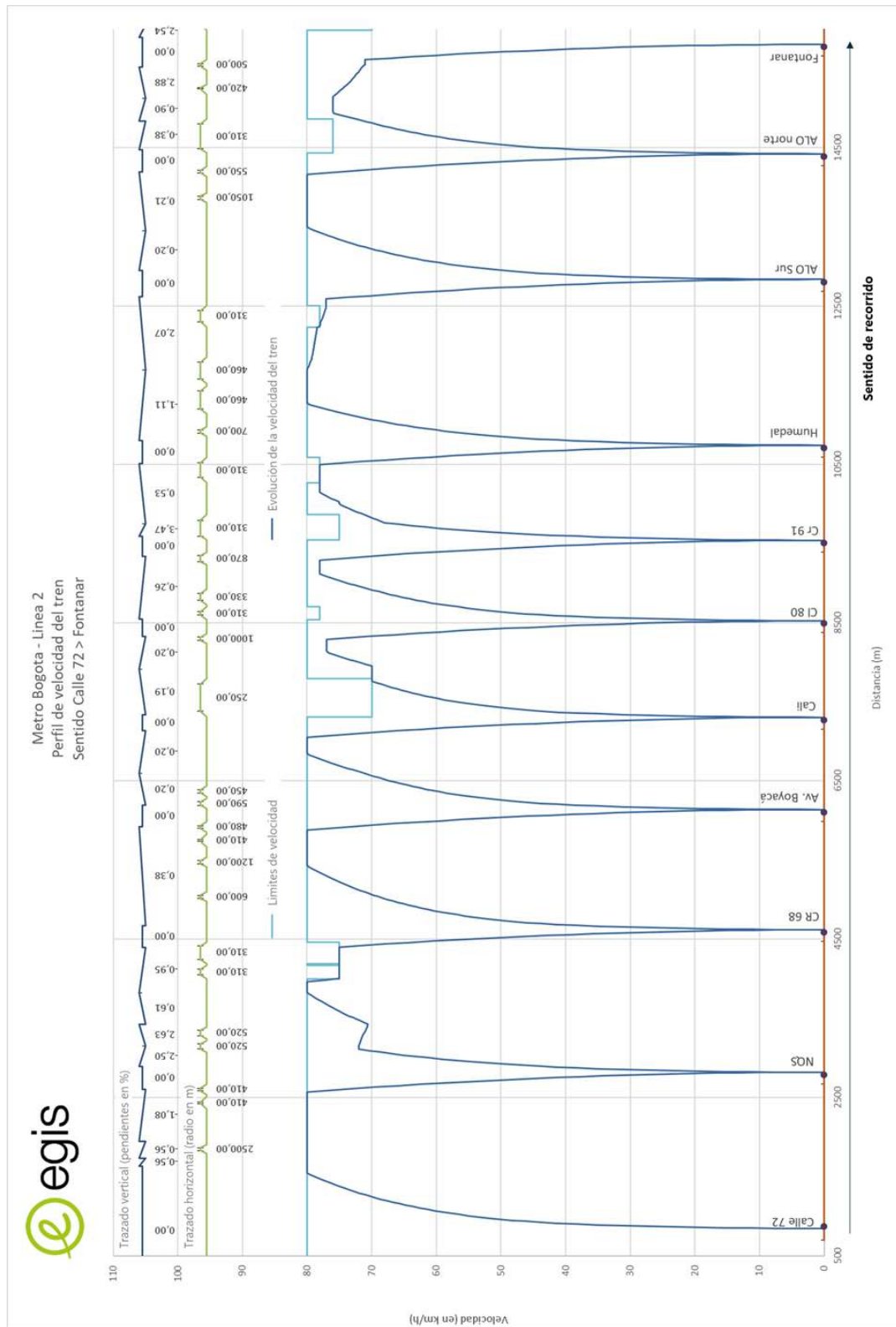
Tabla 6.10 Tiempo de recorrido. Sentido Fontanar > Calle 72

N°	Estación	PK frente del tren (m)	Distancia interestación (m)	Marcha tendida (s)	Tiempo de distensión (s)	Tiempo de regulación (s)	Tiempo Total de trayecto interestación (s)	Velocidad interestación (km/h)	Tiempo de parada en estación (s)	Llegada (hh:mm:ss)	Partida (hh:mm:ss)
1	Fontanar	15663	-	-	-	-	-	-	-	-	00:00:00
2	ALO norte	14279	1384	88	4,4	7	99	50,2	35	00:01:39	00:02:14
3	ALO Sur	12693	1586	97	4,9	8	110	52,0	20	00:04:04	00:04:24
4	Humedal	10597	2096	119	6,0	10	135	55,7	20	00:06:40	00:07:00
5	Cr 91	9395	1202	81	4,1	6	91	47,5	20	00:08:31	00:08:51
6	Cl 80	8377	1018	73	3,7	5	82	44,8	20	00:10:12	00:10:32
7	Cali	7158	1219	84	4,2	6	94	46,5	20	00:12:07	00:12:27
8	Av. Boyacá	5993	1165	79	4,0	6	89	47,2	20	00:13:55	00:14:15
9	CR 68	4473	1520	94	4,7	8	106	51,5	20	00:16:02	00:16:22
10	NQS	2674	1799	109	5,5	9	123	52,5	20	00:18:25	00:18:45
11	Calle 72	699	1975	117	5,9	10	133	53,6	-	00:20:58	-

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

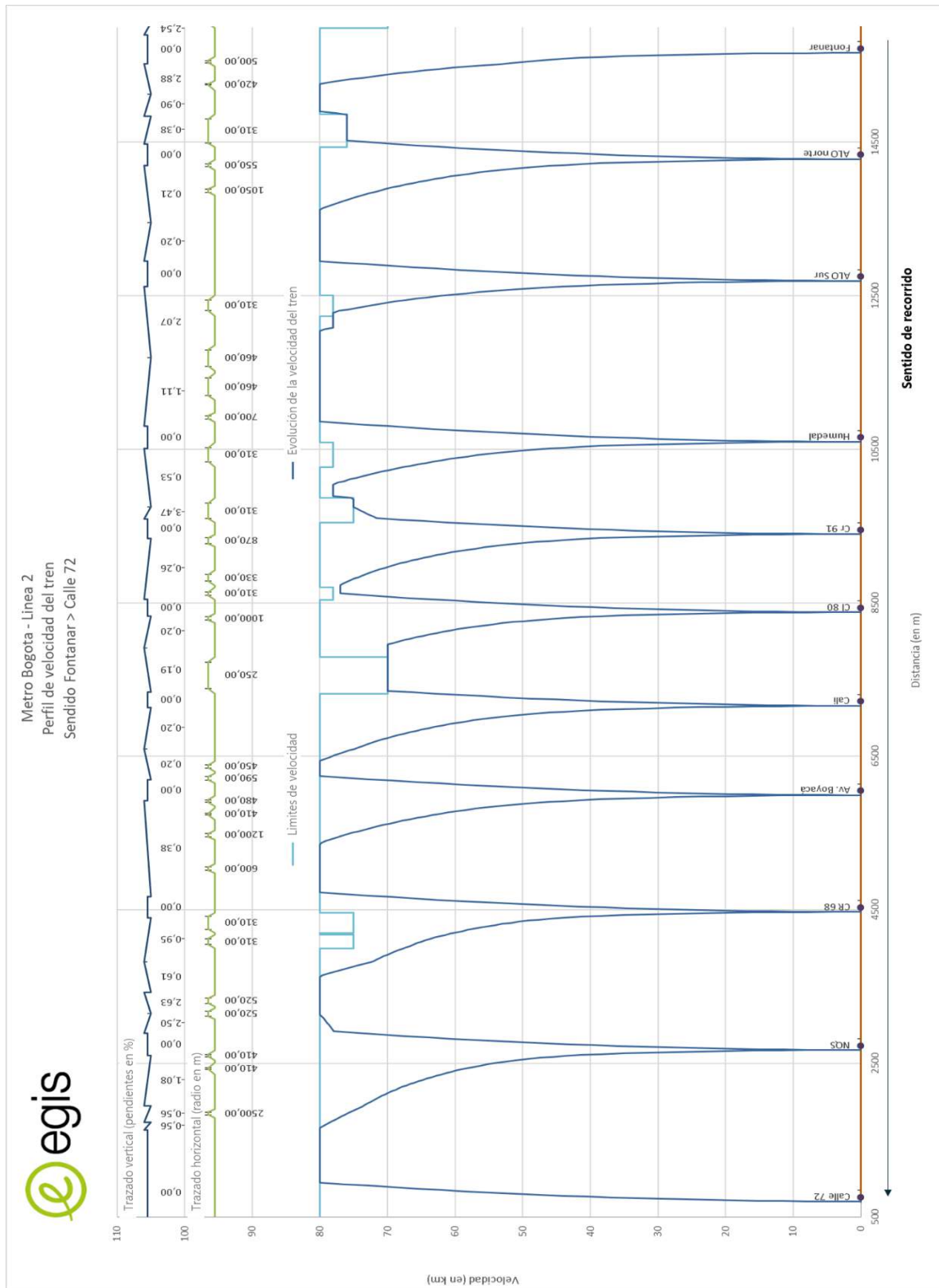
- 6.11 A continuación, se presentan los perfiles de velocidad a lo largo de la línea.

**Tabla 6.11 Perfil de velocidad del tren – sentido Calle 72 > Fontanar**



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

**Tabla 6.12 Perfil de velocidad del tren – sentido Fontanar > Calle 72**



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

6.12 La velocidad comercial se define como la velocidad media de los trenes medida entre la salida de la primera estación terminal (justo después del cierre de puertas) hasta la llegada a la última estación terminal (justo antes de la apertura de puertas), incluyendo los tiempos nominales de parada en las estaciones intermedias. A continuación, se presentan las velocidades comerciales.

Tabla 6.13 Velocidad comercial por sentido

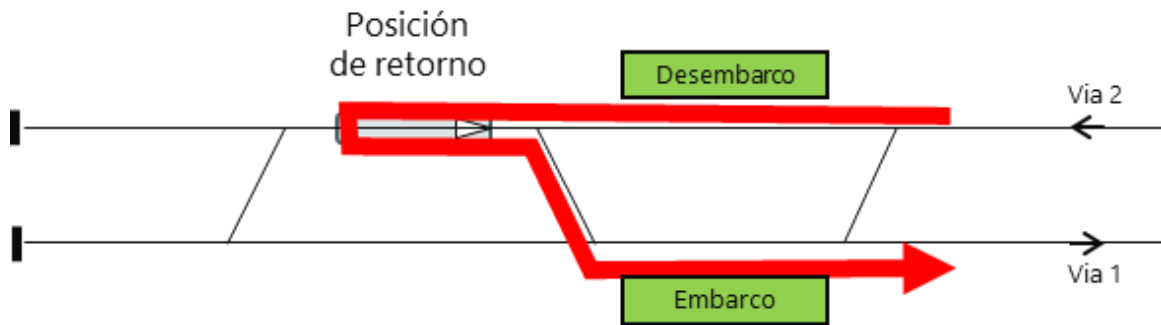
Dirección	Distancia comercial (km)	Distancia promedio inter-estación (km)	Tiempo de recorrido	Velocidad comercial (km/h)
Sentido 1: Calle 72 -> Fontanar	14,96 km	1,50 km	00:20:40	43,5 km/h
Sentido 2: Fontanar -> Calle 72			00:20:58	42,8 km/h

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

### Tiempo de retorno en terminal

6.13 En las estaciones terminales (Calle 72 y Fontanar), en operación nominal, los trenes regresan en la parte trasera de la estación como se muestra a continuación.

Figura 6.8 Retorno en estación terminal – operación nominal.



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

6.14 El tiempo total en cada estación terminal se compone de la siguiente secuencia:

- Tiempo de parada en el andén de desembarque: 30s
- Tiempo de recorrido entre la plataforma de desembarque y la posición de retorno: 35s
- Tiempo técnico de inversión del tren: 10s
- Tiempo de recorrido entre la posición de retorno y la plataforma de embarque: 36s
- Tiempo de parada en el andén de embarque: 20s

6.15 Así, se considera un tiempo total de retorno de 131s en cada estación terminal.



## 7 Tamaño de la flota de material rodante

### Hipótesis y metodología

7.1 El tamaño de la flota es calculado considerando un servicio comercial único entre las estaciones terminales (Calle 72 y Fontanar), con parada en todas las estaciones intermedias.

La flota de material rodante está compuesta por:

- El requerimiento mínimo de trenes en línea durante la hora pico, calculado con base en el tiempo total de recorrido de un ciclo dividido por el intervalo mínimo de operación (en la hora pico de la mañana) definido como tiempo de vuelta redonda. El tiempo de vuelta redonda incluye el tiempo de ida y vuelta entre las estaciones terminales y el tiempo de retorno en cada una de ellas. Este tiempo es posteriormente ajustado con el fin de obtener un número exacto de trenes.
- Trenes de reserva de operación y mantenimiento. Se considera un 15% de la flota en línea, que es la convención (internacional) para este tipo de estudios a este nivel de detalle.

### Resultados

7.2 A continuación, se presenta el tamaño de la flota necesario en el horizonte 2030 y 2050.

Tabla 7.14 Tamaño de la flota de material rodante

Descripción	2030 (oferta 1)	2050 (oferta 2)
Intervalo mínimo en hora pico (s)	143 s	129 s
Tiempo de recorrido Calle 72 hasta Fontanar (s)	00:20:40	
Tiempo de recorrido Fontanar hasta Calle 72 (s)	00:20:58	
Tiempo de retorno en terminal Fontanar (s)	00:02:11	
Tiempo de retorno en terminal Calle 72 (s)	00:02:11	
Tiempo de vuelta redonda mínimo	00:46:00	
Tiempo efectivo de vuelta redonda*	00:47:37	00:47:19
Flota en línea en hora pico	20	22
Flota de reserva y mantenimiento (15% de la flota en línea)	3	4

Descripción	2030 (oferta 1)	2050 (oferta 2)
Flota total	23	26

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

*\*El tiempo de vuelta redonda se ajusta para garantizar que el número de trenes necesario en línea sea un número entero exacto. Este tiempo extra se distribuirá como un tiempo de regulación en las estaciones terminales.*

- 7.3 Se necesita un total de 23 trenes en 2030 y 26 trenes en 2050 para satisfacer la demanda de tráfico estimada (oferta 1 en 2030 y oferta 2 en 2050).
- 7.4 Para información para el futuro de la línea, si se considera la demanda de la oferta más crítica en 2050 de la oferta 1 (carga máxima de 61 286 PPHPD en la hora pico, se necesitarían un total de 31 trenes (27 trenes en línea y 4 trenes de reserva) para ofrecer el intervalo de 106s en la hora pico requerido para satisfacer la demanda. Se recuerda que el patio-taller está diseñado para poder recibir este número de trenes si es necesario en el futuro.

## 8 Horarios y kilometraje anual

### Horarios de operación

- 8.1 La producción kilométrica anual es un dato necesario para la estimación de los costos de operación del proyecto (OPEX). El kilometraje anual se basa en los horarios de operación de la línea a lo largo del día y para cada día tipo en un año (día laboral, sábados, domingos y festivos). La determinación de los horarios de operación de la línea 2 de metro considera los horarios propuestos para la PLMB, adaptando el intervalo de operación durante las horas pico de acuerdo a la demanda de la línea 2 (los intervalos en horas valle son similares a los de la línea 1).

Se ha considerado tres tipos de día (laboral, sábados y domingos y festivos), cada uno con una evolución del intervalo de operación diferente, como se muestra a continuación.

Tabla 8.15 Horarios para cada día tipo (año 2030)

Día tipo	Intervalo de operación (en minutos)		
	Laboral (lunes a viernes)	Sábados	Domingos y festivos
05h30-06h00	8	8	
06h00-06h30	5	5	
06h30-07h	2,4 (hora pico)	2,4 (hora pico)	8
07h-08h	2,4 (hora pico)	2,4 (hora pico)	8
08h-09h	2,4 (hora pico)	2,4 (hora pico)	8
09h-10h	5	5	5
10h-11h	5	5	5
11h-12h	5	5	5
12h-13h	4	5	5
13h-14h	4	5	5
14h-15h	5	5	5
15h-16h	5	5	5
16h-17h	5	5	5
17h-18h	2,4 (hora pico)	5	5
18h-19h	2,4 (hora pico)	5	5
19h-20h	2,4 (hora pico)	5	5
20h-21h	5	5	5

Día tipo	Intervalo de operación (en minutos)		
	Laboral (lunes a viernes)	Sábados	Domingos y festivos
21h-22h	8	8	8
22h-23h	8	8	
23h-24h			
<b>Cantidad día tipo por año</b>	<b>244</b>	<b>52</b>	<b>69</b>

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

Tabla 8.16 Horarios para cada día tipo (año 2050)

Día tipo	Intervalo de operación (en minutos)		
	Laboral (lunes a viernes)	Sábados	Domingos
05h30-06h00	8	8	
06h00-06h30	5	5	
06h30-07h	2,2 (hora pico)	2,2 (hora pico)	8
07h-08h	2,2 (hora pico)	2,2 (hora pico)	8
08h-09h	2,2 (hora pico)	2,2 (hora pico)	8
09h-10h	5	5	5
10h-11h	5	5	5
11h-12h	5	5	5
12h-13h	4	5	5
13h-14h	4	5	5
14h-15h	5	5	5
15h-16h	5	5	5
16h-17h	5	5	5
17h-18h	2,2 (hora pico)	5	5
18h-19h	2,2 (hora pico)	5	5
19h-20h	2,2 (hora pico)	5	5
20h-21h	5	5	5
21h-22h	8	8	8
22h-23h	8	8	
23h-24h			
<b>Cantidad día tipo por año</b>	<b>244</b>	<b>52</b>	<b>69</b>

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

- 8.2 El servicio empieza a las 05:30 de la mañana y termina a las 23:00 los días laborales y los sábados, es decir una jornada de operación de 17,5 horas (jornada de 15,5 horas los domingos y festivos).

## Kilometraje anual

- 8.3 El kilometraje anual representa la distancia total recorrida por la totalidad de los trenes de la flota durante un año. Se calcula de acuerdo a los horarios presentados anteriormente, en el horizonte 2030 y 2050.
- 8.4 El kilometraje anual total es la suma del kilometraje comercial y el kilometraje en vacío. El primero corresponde a la distancia de todos los trayectos comerciales, y se calcula de acuerdo al número de salidas por día tipo (en cada sentido) multiplicado por la cantidad de días al año de cada tipo y por la longitud comercial. El segundo corresponde a la distancia de todos los trayectos técnicos. Incluye las distancias recorridas para las maniobras de retorno en los terminales y las distancias recorridas entre la zona de estacionamiento y la línea.

Tabla 8.17 . Kilometraje anual de la línea 2 en 2030.

Para el año 2030	Laboral (lunes a 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)	275	229	170	
Kilometraje comercial anual (tren.km)	2 008 169	356 383	351 055	2 715 607
Kilometraje en vacío anual (tren.km)	79 324	13 455	12 688	105 467
Kilometraje total anual (tren.km)	2 087 493	369 838	363 743	2 821 074

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

Tabla 8.18 Kilometraje anual de la línea 2 en 2050

Para el año 2050	Laboral (lunes a 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)	351	271	184	

Para el año 2050	Laboral (lunes a viernes)	Sábados	Domingos y festivos	Total anual
<b>Kilometraje comercial anual (tren.km)</b>	2 110 403	365 720	351 055	2 827 178
<b>Kilometraje en vacío anual (tren.km)</b>	85 545	14 068	12 688	112 301
<b>Kilometraje total anual (tren.km)</b>	2 195 948	379 788	363 743	2 939 480

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

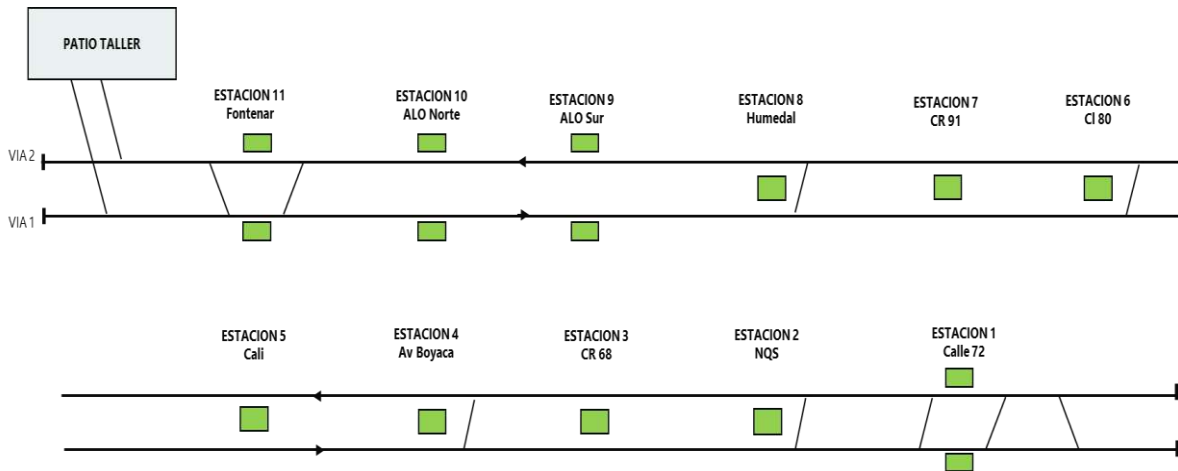
## 9 Plano de vías

9.1 El diseño del plano de vías de la línea 2 es importante para permitir su operación en buenas condiciones, con fiabilidad y robustez. De maneja general, el plano de vías de la línea 2 del metro automático de la ciudad de Bogotá debe permitir:

- La operación de la línea en modo nominal de acuerdo a los servicios comerciales y el intervalo definido.
- El retorno de trenes en las estaciones terminales.
- La operación en modo degradado, en caso de un accidente o incidente en la línea, implicando por ejemplo un bloqueo parcial de la línea (se implementan zonas de retorno temporales en puntos estratégicos de la línea para mantener un servicio parcial).
- La conexión con el patio taller para gestionar el ingreso y la salida de trenes en la línea.
- Proporcionar zonas de estacionamiento adicional, principalmente en las estaciones terminales (para el modo perturbado/degradado y / o con el fin de reducir la circulación en vacío).

9.2 A continuación, se presenta el plano de vías propuesto para la línea 2 de metro.

Figura 9.9 Plano de vías de la línea 2 de metro.

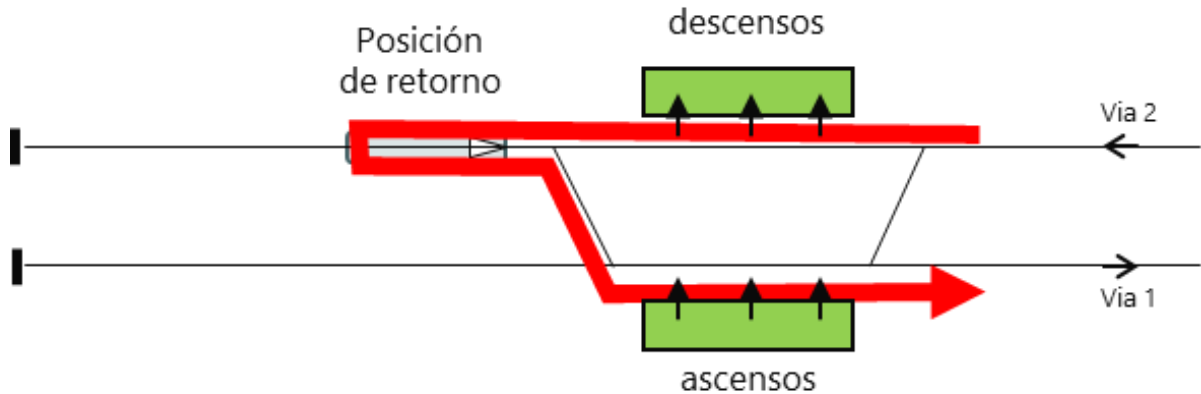


Fuente: Unión Temporal Egis-Steer Metro de Bogotá, 2021

## Terminales

- 9.3 Se propone el mismo principio de retorno en las dos estaciones terminales. Cada estación terminal tiene dos andenes laterales con una cola de maniobra. En modo nominal de operación, el retorno de los trenes se hace utilizando el aparato de vía ubicado después de la estación. Ya que la maniobra del tren se realiza detrás de la estación, los descensos y ascensos de los pasajeros se hacen en andenes separados.

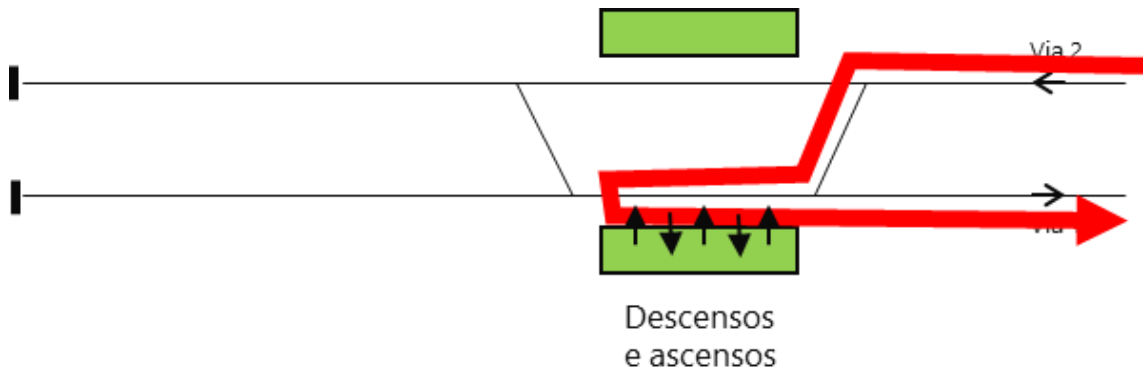
Figura 9.10 Retorno detrás de la estación terminal – operación nominal.



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

Además, se dispone de un aparato de vía antes de la estación terminal que se puede utilizar para el retorno de un tren retrasado en caso de perturbación (permitiéndole recuperar parte de su retraso).

Figura 9.11 Retorno antes de la estación terminal – operación perturbada.



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

- 9.4 En la estación terminal Calle 72, se recomienda disponer de un espacio de estacionamiento detrás de la zona de retorno de los trenes. Esta zona es estratégica para el estacionamiento de trenes, ya que se encuentra en el extremo opuesto al patio taller. Ese espacio de estacionamiento adicional se utiliza principalmente para las siguientes funciones:

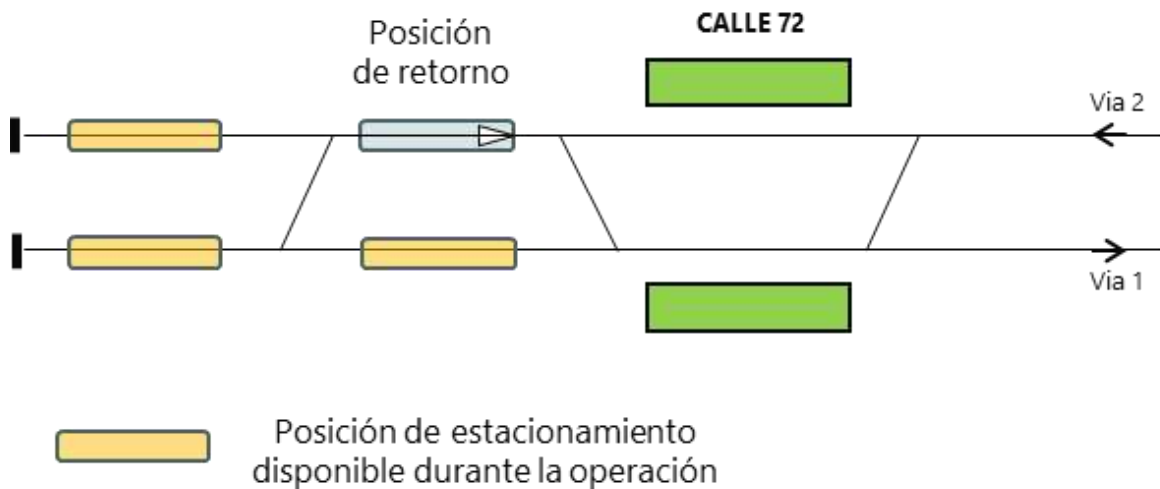


- Estacionar temporalmente un tren averiado para devolverlo al patio taller en el momento en que se cause la menor perturbación de operación.
- Estacionar trenes durante horas valle o durante la noche para evitar el retorno sistemático de todos los trenes al patio taller y así reducir los kilómetros en vacío.
- Con algunas posiciones de estacionamiento en la terminal de la calle 72, la inyección de trenes en la línea puede hacerse desde el patio taller al extremo occidental y desde el terminal calle 72 al extremo oriental para algunos trenes. Esto permite una inyección de trenes más eficiente y flexible.

9.5 La configuración seleccionada para la estación de Calle 72 y su cola de maniobra proporciona la posibilidad de estacionar un máximo de 3 trenes durante el periodo de operación de la línea (ver la siguiente Figura 9.12). Durante la noche (sin servicio comercial), se podría también estacionar un tren adicional en la posición de retorno (es decir 4 posiciones de estacionamiento durante la noche sin considerar la posibilidad de parquear trenes en la zona de andenes). Teóricamente serían posibles posiciones adicionales alargando la cola de maniobra, pero el contexto del sitio (edificios existentes en la zona, topografía, etc.) hace que su implantación sea difícil y costosa.

Se recomienda, a este nivel de estudio de prefactibilidad, considerar este número de posiciones como mínimo (es decir una posición adicional por vía después de la zona de retorno) y estudiar en las etapas siguientes la posibilidad de incluir posiciones adicionales si se desea dar una mayor flexibilidad a la operación de la línea.

Figura 9.12 Posiciones de estacionamiento en el terminal Calle 72



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

## Aparatos de vía a lo largo de la línea

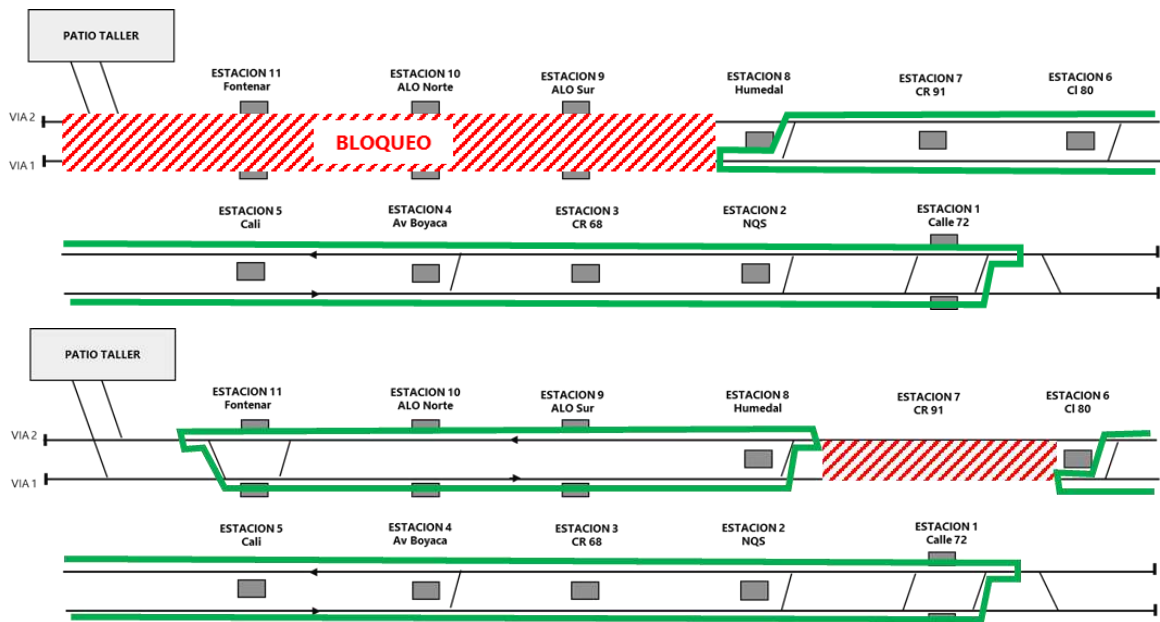
9.6 Los aparatos de vía ubicados a lo largo de la línea deben permitir maniobras de retorno en caso de obstrucción de la vía (debida a la falla de un tren o a la falla de un equipo) para poder realizar servicios parciales en modos degradados de operación.

Estos aparatos de vía utilizados en operación degradada deben ubicarse idealmente cerca de las estaciones de conexión importantes (con otras infraestructuras de transporte, como Transmilenio, Tranvía o PLMB T1) y/o en los tramos más cargados de la línea. Así, además de los aparatos de vías en las estaciones terminales, se proponen 4 aparatos de vías ubicados en:

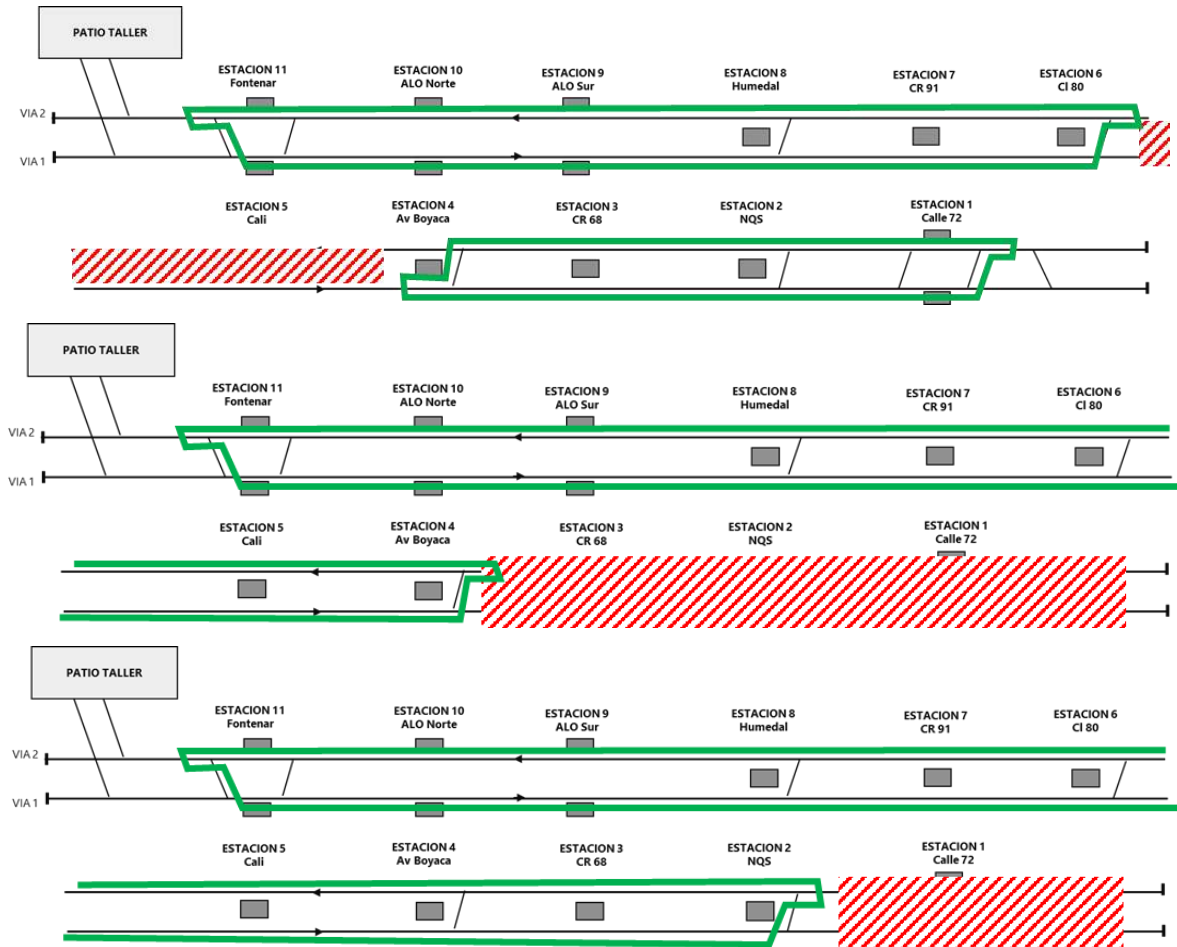
- Estación 2 – NQS.
- Estación 4 – Av. Boyacá.
- Estación 6 – Calle 80.
- Estación 8 – Humedal.

9.7 Los diferentes servicios parciales posibles en modo degradado, con estos aparatos de vías, se presentan a continuación. En caso de bloqueo, el principio de operación en modo degradado sería que la línea se dividiera en secciones independientes y se operara por separado. Los trenes cambiarían de vía y de dirección utilizando las estaciones intermedias equipadas con aparatos de vía. Se podrían introducir servicios de autobús de sustitución como medida temporal para compensar la interrupción del tráfico del metro local.

Figura 9.13 Servicios parciales posibles en modo degradado.



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



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

# 10 Sinergias entre la línea 1 y 2

## Resumen de las sinergias: Dos líneas de metro, el inicio de una red de metro

- 10.1 Cuando se habla de construir una nueva línea de metro, es común estudiar las sinergias posibles a corto y largo plazo entre las diferentes líneas de metro. Tres categorías principales de sinergias puede ser consideradas en un red de metro :
- **Sinergia de operación:** Un operador único está encargado de las dos, o más, líneas. Una conexión ferroviaria permite de mutualizar los trenes entre las dos líneas (interoperabilidad).  
Conclusión (refiere a 10.4) : Aunque la interoperabilidad completa no sea posible a corto y largo plazo, algunas formas de sinergia de operación son recomendados.
  - **Sinergia de mantenimiento:** Un mantenedor único está encargado de las dos, o más, líneas. Una conexión ferroviaria indirecta (a través de otra línea) permite de mutualizar las infraestructuras y herramientas de mantenimiento entre las líneas de red de Bogotá.  
Conclusión : (refiere a 10.24) Sinergia **imposible** a corto plazo. A largo plazo, esta sinergia depende del desarrollo del red de Bogotá (otras líneas). Se recomienda de garantizar la compatibilidad de las dos líneas para permitir en el futuro la circulación ferroviaria entre cada línea en modo manual.
  - **Sinergia de « Asset Management »** : La homogeneidad de las tecnologías entre las dos líneas de metro permite disminuir los costos de adquisición para las extensiones o renovaciones (efecto de escala, creación y sustentabilidad de un tejido local competente en estas tecnologías).  
Conclusión : (refiere a 10.31) Conclusión : Sinergia **posible** a corto plazo. Recomendación de fomentar la homogeneidad técnica entre las dos líneas.

## Sinergia de operación – Investigaciones

### Investigaciones sobre la interoperabilidad

#### Objetivo

- 10.2 La interoperabilidad se define como la capacidad de cualquier tren de la línea 1 de circular en UTO sobre la línea 2 (y viceversa). Esta característica permite de mutualizar los trenes y circulaciones entre las dos líneas.

10.3 Al presente, los respectivos trazados de las dos líneas no permiten una conexión directa entre la línea 1 y la línea 2:

- Línea 1 sobre Viaducto a una altura media de +13m
- Línea 2 subterránea a una profundidad media de -17 m

#### *Conclusión*

10.4 Además, en las reuniones con la FDN y EMB se definió que, en principio, no habrá una interoperabilidad total entre las dos líneas del metro de Bogotá, por las razones siguientes:

- Muy complejo técnicamente
- Muy pocos ejemplos de interoperabilidad en redes de metro a nivel mundial
- La compatibilidad de tecnologías de CBTC entre diferentes constructores es difícil. Se limitarían las posibilidades de obtener varias opciones en la fase de licitación.

#### **Investigaciones sobre las sinergias en el CCO (integración de las dos líneas en el CCO)**

##### *Objetivo*

10.5 El Anexo 6 – Especificaciones técnicas del contrato 033 de 2020: propone de estudiar la integración de los sistemas de control y de supervisión de la línea 2 en el CCO existente de la línea 1.

10.6 A continuación, se describe este concepto desde un punto de vista técnico y un punto de vista organizacional por el / los operadores.

##### Análisis técnico:

10.7 La integración funcional de los sistemas de control y supervisión de la línea 2 con la línea 1 es posible técnicamente: a menudo, se tiene que tomar en cuenta la especificidad del sistema de supervisión de la circulación ferroviaria (Automatic Train Supervision – ATS) que está vinculada con el sistema CBTC. Cada fabricante de sistemas CBTC tiene un producto ATS compatible. La integración de un producto ATS único con los dos sistemas CBTC implica una gran complejidad y riesgos importantes para el proyecto. Una solución alternativa es de disponer de los dos sistemas ATS en paralelo en el CCO si se necesita.

10.8 En el caso los dos CCO sean independientes, cada línea forma parte del sistema global de transporte de Bogotá. Por eso, se puede considerar las siguientes interfaces mínimas:

- Interfaces en la estación calle 72 de transbordo entre la línea 1 y la línea 2:
  - Interfaz técnica: Información de los pasajeros en transbordo (micrófono y pantallas de visualización) desde cada CCO
  - Interfaz operacional: gestión de las situaciones de emergencia y situaciones especiales de operación, tales como eventos masivos, con procedimientos comunes en esta estación entre los 2 operadores.
- Interfaz de tráfico global: La visualización del tráfico de una línea en el CCO de la otra es importante para anticipar el flujo de pasajeros que pueden llegar. Por eso se tiene que disponer de una pantalla de visualización de los trenes de la línea 1 en el CCO de la línea 2, y viceversa.

##### Investigaciones de organización:

10.9 El operador de la línea 1 del metro de Bogotá es un operador privado con un contrato de concesión a largo plazo.

- 10.10 Para optimizar la estrategia de licitación del operador de la línea 2, se recomienda hacer una licitación abierta (aumentar la competencia). En una licitación abierta, las especificaciones técnicas tienen que permitir a un operador diferente del operador de la línea 1 de proponer una oferta. El estudio de factibilidad debe estudiar los dos casos : 1 operador único (el operador de la línea 1 gana la licitación de la línea 2) y el escenario con 2 operadores diferentes sobre la línea 1 y la línea 2 (el operador de la línea 1 no gana la licitación de la línea 2).
- 10.11 En el escenario con 2 operadores diferentes, es importante que el control de cada línea sea posible únicamente por el operador responsable de la línea. Se tiene que aislar la supervisión y el control de cada línea.
- 10.12 Además, la supervisión de la información de mantenimiento debe enviarse únicamente al responsable de la línea correspondiente. Si las informaciones no están aisladas por línea, existe un riesgo de confusión entre las informaciones de mantenimiento.

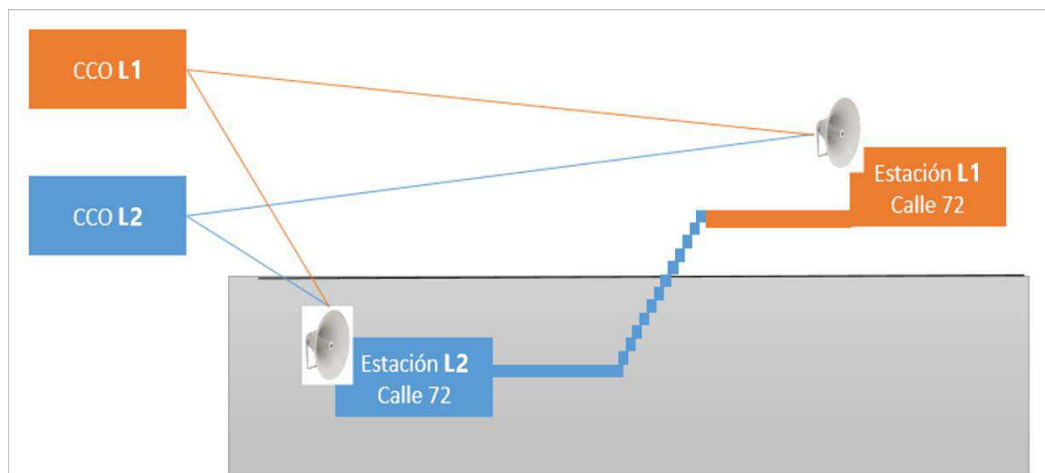
*Conclusión*

- 10.13 En consecuencia, el CCO de la línea 2 estaría implementado en un lugar independiente de la línea 1. En el actual diseño de prefactibilidad de la línea 2, el patio taller prevé un área para las instalaciones del CCO de la línea 2. El lugar final de implantación del CCO estará fijado durante los estudios de factibilidad.

Requisitos derivados

- 10.14 **Subsistema de megafonía:** Se recomienda prever una interfaz con la línea 1 en la estación Calle 72. En caso de servicio degradado sobre una línea es importante informar a los pasajeros en conexión entre las dos líneas.

Figura 10.14 Sistema de megafonía



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

- 10.15 **Información de tráfico de la línea 1:** se recomienda la implementación de una pantalla de visualización de los trenes de la línea 1 en el CCO de la línea 2 (para anticipar el flujo de pasajeros que pueden llegar) y viceversa si es posible (necesitará coordinación con el operador de la línea 1).

## Sinergia de Mantenimiento

### Objetivos

- 10.16 Las optimizaciones de las infraestructuras de mantenimiento se estudian bajo dos aspectos: el mantenimiento de los materiales rodante y el mantenimiento de las infraestructuras fijas.
- 10.17 Respecto a los materiales rodantes, el ahorro de costos se pueden presentar con la combinación de las infraestructuras de mantenimiento entre las dos líneas de metro (edificación de un taller único sobre una de las dos líneas). Esta estrategia necesita que el mantenedor de las dos líneas sea el mismo y que los trenes de las dos líneas sean capaces de irse sobre las dos líneas en UTO para llegar al taller de mantenimiento. Esta interoperabilidad no es recomendada como se describe en la parte “sinergias de operación”. En conclusión no es recomendado compartir un taller entre las dos líneas.
- 10.18 De manera alternativa, se pueden estudiar algunas sinergias para las operaciones de mantenimiento pesadas e infrecuentes (ejemplo : operación de pintura). Si el metro de Bogotá quiera construir en el futuro este tipo de infraestructura para las operaciones de mantenimiento a media-vida del material rodante, se recomienda permitir la circulación de los trenes entre cada línea del “red de metro de Bogotá” con el fin de combinar estas infraestructura entre cada línea del red de Bogotá. Estos movimientos no serán frecuente y no exigen interoperabilidad UTO.
- 10.19 Respecto al mantenimiento de las infraestructuras fijas, los equipamientos pesados (locomotoras) pueden estar combinado si existe una conexión ferroviaria entre les dos líneas, y que los gálíbos dinámicos sean compatibles

### Investigación

- 10.20 Al presente, los respectivos trazados de las dos líneas no permiten una conexión entre la línea 1 y la línea 2. Además, el mantenedor de la línea 1 del metro de Bogotá es un mantenedor privado con un contrato de concesión a largo plazo y vigente.
- 10.21 Sin embargo, un sistema de metro tiene que estudiar al largo plazo la posibilidad de tener una futura conexión de vía, con la condición de que una circulación sea compatible.
- 10.22 A largo plazo, la posibilidad de tener una red de metro interconectado a través de otras líneas es hipotético. Se recomienda elegir un diseño técnico que permita la compatibilidad de circulación de los trenes de la línea 1 sobre la línea 2 únicamente si estas opciones no aumentan el CAPEX de la operación.
- 10.23 El estudio del modelo operacional muestra que la capacidad de los trenes de la línea 2 es similar con los trenes de la línea 1 del metro de Bogotá. Además las tecnologías elegidas en la línea 1 son estándar internacional cual no generan sobrecostos.

## Conclusión

10.24 En consecuencia, los requisitos derivados que siguen son los requisitos mayores que garantizan la compatibilidad de las dos líneas para permitir en el futuro la circulación ferroviaria entre cada línea en modo manual a través de una tercera línea. Por lo cual, permitir una forma “ligera” de interoperabilidad en el futuro tendrá dos objetivos principales:

- Combinación de los talleres de mantenimiento de gran envergadura
- Combinación de los equipamientos de mantenimiento de la infraestructura

## Requisitos derivados

10.25 **Material Rodante:** El galibo dinámico del Material Rodante debe ser compatible con la línea 1. Esto incluye el sistema de captura eléctrica (tercer riel). Dependiendo de la posición de la conexión entre las dos líneas, se estudiará la compatibilidad de galibo dinámico, en particular en las estaciones.

10.26 **Sistema de alimentación eléctrica:** Aunque existe material rodante con un sistema de alimentación eléctrica mixta (Tren – tranvía, 750 Vcc / 1500 Vcc; Avanto 25kV 50 Hz / 750 VCC), se facilita la integración de los sistemas si se utiliza una alimentación eléctrica con las mismas características; como mínimo:

- Voltaje nominal = 750 VCC
- Sistema de alimentación eléctrica = Tercer riel

10.27 **Sistema de señalización y control de trenes:** La interoperabilidad completa no es requerida, no se necesita imponer requerimientos fuertes al sistema de señalización y de control de trenes. Sin embargo, el sistema de señalización tiene que permitir la circulación de trenes de la línea 1 sobre la línea 2 en modo manual. Los requisitos derivados de este función son los siguientes :

- El ATS permite al operador del OCC de establecer rutas para trenes de otras líneas las cuales no se comunican con el sistema de la línea 2.
- El sistema de señalización y control de trenes protege la circulación de trenes de otras líneas en modo manual las cuales no comunican con el sistema de la línea 2 y pueden tener una longitud diferente de los trenes de la línea 2.

Nota : Estos requisitos implican sistemas de señalización secundarios (axle counter o circuito de vía) y semáforos en zona de maniobra que se utilizan también en modo degradado.

## Sinergia de “Asset Management”



### **Objetivo**

- 10.28 Una red de metro es un sistema evolutivo en el tiempo. Se debe proveer eventos como extensiones de líneas, aumentación de la oferta de transporte y renovaciones de las infraestructuras y del material rodante.
- 10.29 Por cada evento mayor descrito arriba, los costos pueden disminuir si la red de metro tiene tecnologías similares que permiten hacer adquisiciones agrupadas en lugar de pequeñas adquisiciones aisladas. Por ejemplo, la renovación del material rodante alrededor del año 2060 puede ser negociado con un contrato único de adquisición de material rodante común a dos o tres líneas de metro en vez de diferentes contratos de adquisición por cada línea. Esta estrategia permite de compartir los costos fijos vinculados (costos de diseño, costos de ensayos, costos de desarrollo de la línea de producción, etc....). Además, permite al metro de Bogotá detener un poder de negociación más importante con los proveedores.
- 10.30 La estandarización de las tecnologías de las diferentes líneas de metro de Bogotá permite generar volúmenes de trabajos importante sobre estas tecnologías y fomenta el desarrollo de las competencias técnicas del tejido industrial local. Favorece el desarrollo de los empleos locales que sería más difícil si estas tecnologías fueran muy diferente entre cada línea y no generan bastante trabajos para desempeñar un sector industrial local competente.

### **Conclusión**

- 10.31 Implementar exactamente las tecnologías de la línea 1 sobre la línea 2 no es una obligación. Sin embargo, se recomienda implementar los mismos conceptos de arquitectura de los sistemas para permitir una renovación común de los sistemas en el futuro (interfaces similares).

# 11 Sistema de señalización y Control de trenes

## Descripción del sistema

- 11.1 La automatización integral de la línea 2 se consigue a través de la integración de subsistemas que deben funcionar de manera coordinada. Dichos subsistemas son:
- Sistema de Control Automático del tren (ATC),
  - Material Rodante,
  - Puertas de Andén,
  - Telemando centralizado,
  - Sistema de Telecomunicaciones,
  - Sistema de alimentación eléctrica,
  - Sistema de Información a viajeros.
- 11.2 El sistema de Control Automático del Tren (ATC) previsto para el presente proyecto es del tipo CBTC, que es un sistema moderno de señalización basado en las comunicaciones. La comunicación entre los trenes y los equipos fijos se realiza a través de radio. El uso de radio bidireccional permite un intercambio de información en tiempo real entre los trenes y los equipos de control fijos, lo cual permite incrementar en seguridad la capacidad de la línea a través de la reducción de la separación entre los trenes.
- 11.3 El principio de funcionamiento de los sistemas CBTC se basa en que cada tren conoce su velocidad y localización a través de diferentes mecanismos (tacómetros, balizas de relocalización, etc.). Esta posición es transmitida periódicamente desde cada tren al sistema central ATC. El ATC central conoce la posición de la integridad de trenes y el estado de la vía y responde a cada tren con una autorización de movimiento (MAL). Cada tren en función de la autorización de movimiento recibida, del trazado de la vía y de las restricciones del sistema, calcula las curvas de frenado de seguridad y conduce el tren respetando dichas curvas de seguridad. El sistema CBTC estará basado en un principio de cantón móvil real, lo cual implica que no se implementará ninguna separación de bloques en módulos de hardware ni de software, lo cual garantizará el máximo rendimiento global del sistema de transporte.
- 11.4 Los sistemas CBTC permiten reducir el número de equipos de señalización que son necesarios a lo largo de la vía. Dicha reducción permite en consecuencia reducir el número de incidentes debidos a la señalización, que representan una gran parte de las incidencias que afectan a la disponibilidad global del sistema de transporte.
- 11.5 El sistema CBTC integrará un sistema de detección secundario de trenes para posibilitar la operación de trenes no equipados, y para servir como sistema de respaldo.

- 11.6 Para reducir los riesgos de implementación, solamente se utilizarán sistemas y productos probados y comprobados en otras explotaciones en servicio. El sistema de señalización pilotará en seguridad el sistema de puertas de andén.

## Requisitos funcionales fundamentales

- 11.7 Los criterios operativos generales de la línea 2 se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 11.19 criterios operativos de la línea 2

Descripción	Valor
Velocidad máxima de servicio en UTO	80 km/h
Velocidad máxima de diseño	90 km/h
Velocidad máxima en conducción manual en la línea Principal	30 km/h
Velocidad máxima de acoplamiento entre 2 trenes	5 km/h
Velocidad máxima en talleres en UTO	25 km/h
Velocidad máxima en talleres en conducción manual	15 km/h
Intervalo Mínimo de Operación en la PLMB	Cf. 5.12

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

- 11.8 El Sistema de señalización y automatización tendrá que:
- Asegurar, en todos los casos y situaciones, la seguridad de usuarios y operarios del sistema: A bordo de los trenes, en los andenes, en el túnel y zonas técnicas y de estacionamiento. En modo nominal y en modo degradado. Las funciones de seguridad del sistema tendrán un nivel de integridad SIL4.
  - Permitir una operación de la línea totalmente automatizada. La supervisión de la línea será desde el CCO.
  - Ofrecer una gran regularidad de operación, gracias a la automatización de la conducción, de las inversiones de marcha en las estaciones terminales y del establecimiento de itinerarios. El sistema permitirá recuperar los eventuales retrasos que se pudiesen producir.
  - Permitir gestionar con otras líneas o medios de transporte la correspondencia en determinadas estaciones.
  - Tener un sistema de muy alta disponibilidad: el diseño y la integración de los subsistemas críticos anteriores y del resto de subsistemas que componen el sistema de transporte global deben asegurar una disponibilidad del sistema de transporte global superior al 99,997 %. Para tal objetivo se diseñarán las arquitecturas redundantes necesarias.
  - Permitir una operación flexible y eficaz de los modos degradados: Servicios parciales, cierre de estaciones, servicios en vía única, etc. Debe permitir una gestión eficaz de los modos degradados cuando surja la incidencia e igualmente durante su recuperación y vuelta a la normalidad.
  - Informar eficazmente a los viajeros en la estación y en el tren, tanto en operación nominal como en operación degradada.

- Gestionar y facilitar el mantenimiento: Sistema CBTC GoA4 que minimice el número de componentes en vía, supervisión remota, herramientas de diagnóstico y ayuda eficaces y generación de informes y estadísticas.

11.9 La operación de la línea 2 será totalmente automatizada, correspondiente a un grado de automatización GOA4, según la clasificación definida en la norma internacional UNE-EN IEC 62290 – 1 Dicho grado de automatización corresponde a una operación de trenes sin conductor. Sus principales características serán:

- Protección automática de trenes,
- Conducción automática del tren e inversión automática en estaciones terminales,
- Regulación automática de la operación tanto en modo nominal como en situaciones degradadas en función de la configuración de la operación y consignas que se definan desde el Centro de Control de Operacional (CCO),
- Control y protección automática del intercambio de viajeros en andén,
- Inicialización y finalización automática de la operación, tanto en funcionamiento nominal como después de una situación degradada,
- Ingreso y retirada automática de la línea a las zonas automáticas de los patio-taller o zonas de estacionamiento de línea,
- Lavado automático en patio taller,
- Detección de situaciones de emergencia por el sistema.
- Gestión de situaciones de emergencia por el sistema o de forma remota desde el Centro de Control de Operacional (CCO).
- Conducción remota desde el CCO.

11.10 El sistema CBTC se desarrollará de acuerdo con las normas internacionales de calidad y seguridad ferroviaria CENELEC EN50126, EN50128 y EN50129.

### Requisitos para la sinergia con la PLMB T1

11.11 Cada uno de los subsistemas — es decir, ATS, CBTC y enclavamiento — se diseñará de manera flexible en lo que respecta a la configuración y escalabilidad. Por consiguiente, será posible ampliar fácilmente la red en cualquier momento, e incorporar las adaptaciones necesarias al sistema de señalización existente.

11.12 Además, para satisfacer a las sinergias de mantenimiento a largo plazo (cf.1), el sistema de señalización debe permitir la circulación en modo manual de trenes que no son equipados con el CBTC de la línea 2 (trenes de otras líneas) durante la noche o horas valle. Este modo de funcionamiento implica disponer de sistemas de señalización secundarios (contador de ejes) que serán utilizados también en modo degradado.

# 12 Centro de Control Operacional

## Descripción del sistema

- 12.1 Los proyectos de instalaciones ferroviarias tienen como cometido la definición de los sistemas que permiten una operación funcional de forma adecuada. Para operar una línea es fundamental que esos sistemas sean operados de forma controlada, coordinada y supervisada.
- 12.2 Para que los tres aspectos de control, coordinación y supervisión sean efectivos es necesario hacerlo desde un único punto centralizado desde donde se accede a toda la información, permitiendo tomar decisiones rápidas de forma acertada.
- 12.3 Denominamos Centro de Control de Operacional (CCO) al conjunto de equipamiento que permitan la supervisión y gestión centralizada de todos los sistemas de la Línea 2 del Metro de Bogotá.
- 12.4 El CCO se compone de las siguientes funciones:
- Supervisión y control de la circulación de los Trenes en línea principal y en el Patio-Taller. (subsistema *Automatic Train Supervision* – ATS vinculada con el CBTC)
  - Supervisión y Control de la energía (sistemas de Alimentación de Alta Tensión, Media Tensión, Alimentación Tracción para los Trenes y Alimentación Baja Tensión para estaciones y edificios)
  - Supervisión de la seguridad e Información a los pasajeros en las estaciones y en los Trenes (CCTV, interfonía y megafonía, información visual)
  - Supervisión y Control de los equipos en estaciones (SCADA)
- 12.5 Además, se propone realizar un CCO totalmente redundante. Eso significa que existirían dos ubicaciones capaces de realizar la totalidad de las funciones del CCO. Si uno de los Puestos de Control se ve afectado por cualquier incidencia, el control podrá ser tomado de forma inmediata desde la otra ubicación. Esta situación requiere una duplicidad de espacios. Al nivel de pre-factibilidad, la ubicación que optimiza los criterios es la implantación del OCC de respaldo en el edificio del patio taller (independencia de los edificios en frente de los riesgos a cubrir, proximidad geográfica de los 2 OCC para transferir rápidamente los equipos del OCC, disponibilidad de espacios).

## Requisitos funcionales fundamentales

- 12.6 El sistema del CCO debe unificar el control y la supervisión de los siguientes sistemas:
- el sistema CBTC que integra en particular la supervisión automática de los Trenes (ATS-CBTC) y el control y mando de la señalización;
  - el sistema SCADA que asegura el control y mando de los equipos de suministro de energía (SCADA Energía);

- el sistema SCADA que asegura el control y mando de los equipos electromecánicos en las estaciones (SCADA Estaciones) (puertas de andén o plataforma, escaleras, ascensores, detectores de incendio, ventilación, bombas, etc.);
- el sistema de Megafonía;
- el sistema de Cronometría;
- el sistema de Información a los pasajeros;
- el sistema CCTV;
- el sistema de Control de Accesos y Alarmas;
- los equipos de Peaje/ Control de Acceso;
- los sistemas de recaudo
- el sistema de Interfonía;
- el sistema de Telefonía;
- el sistema de Radiocomunicaciones;
- a Red Multiservicios (RMS);
- el Sistema de Gestión del Mantenimiento (MMS).

12.7 El CCO debe garantizar la homogeneidad de la presentación de las pantallas control/comando o IHM entre los diferentes sistemas.

12.8 Además de las pantallas de cada puesto operador, un tablero de control óptico (TCO) permite la visualización de los datos de energía, tráfico y CCTV.

12.9 El CCO debe permitir al operador de estar informado del estado particular del sistema a través de las alarmas. En situación degradada la jerarquización de las alarmas permite al operador de identificar las alarmas “padre” sin estar contaminado con las otras alarmas “hijas”.

## Requisitos para la Integración con la PLMB T1

12.10 De acuerdo con la estrategia de sinergias de operación (cf. 10.13), el CCO de la línea 2 estará implementado en un lugar independiente de la línea 1.

12.11 Sin embargo, los sistemas siguientes tienen que integrarse con la línea 1 que forma parte del sistema global de transporte de Bogotá:

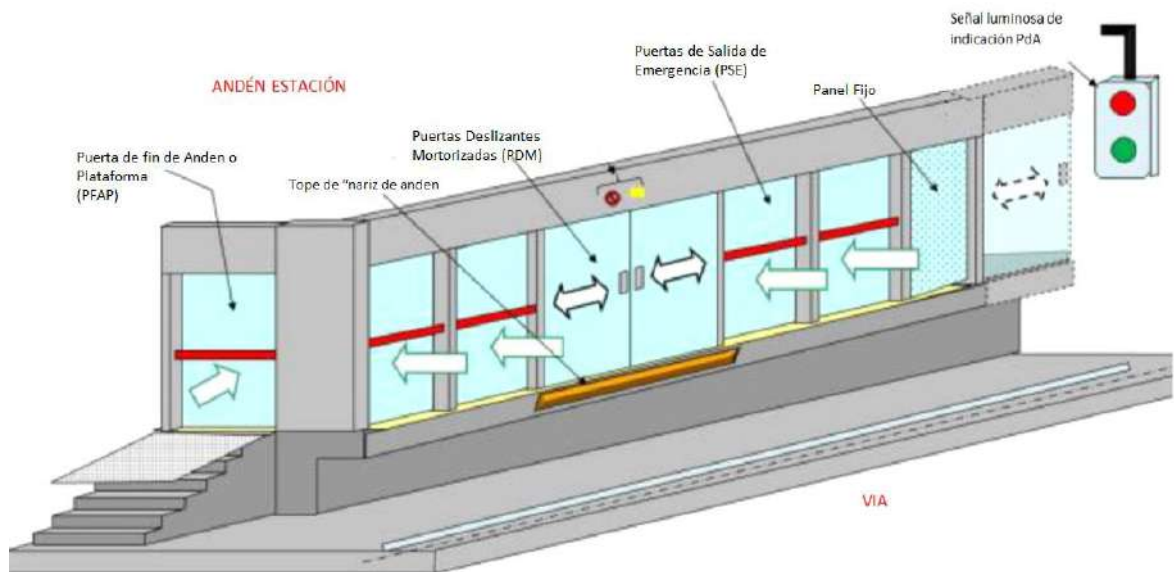
- **Subsistema de megafonía:** Se recomienda de prever una interfaz con la línea 1 en la estación Calle 72. En caso de servicio degradado sobre una línea es importante de informar los pasajeros en conexión entre las dos líneas.
- **Información de tráfico de la línea 1:** Se recomienda la implementación de una pantalla de visualización de los trenes de la línea 1 en el CCO de la línea 2.

# 13 Puertas de Andén o Plataforma

## Descripción General del sistema

- 13.1 El sistema de puertas de andén o Plataforma (PDAP) es una estructura compleja que permite separar físicamente el andén y la vía.
- 13.2 Con referencia a la figura siguiente, el sistema de aislamiento físico del espacio entre el andén de la estación con el de la vía; se compone de:
- Puertas Deslizantes Motorizadas (o PDM), tantas como puertas tenga el tren (1)
  - Puertas de Salida de Emergencia (PSE), ubicada entre las PDM (2)
  - Paneles fijos y paredes de cierre, para rellenar los espacios entre las PDM y las PSE (3)
  - Puertas de Fin de Anden o Plataforma (PFAP), similares a las PSE (4)
- 13.3 Del lado de la vía,
- Tope de “nariz de anden” para protección de los elementos de las PdA (5)

Figura 13.15 Esquema Puertas de anden o plataforma Línea 2



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

- 13.4 Fuera de la zona de andén, el sistema se compone de:
- Armario de estación, donde se encuentran los elementos de mando, control y comunicaciones.
  - Señales luminosas en los extremos

- 13.5 En el local técnico de la estación, se encuentran también:
- Gabinete / alojamiento de interfaz con el sistema de señalización ferroviaria por el cual se transmitirán informaciones de seguridad
  - Gabinete / alojamiento de supervisión de las PDAP que recoge los estados y las alarmas de las PDAP para remontarlas al sistema de SCADA en el CCO para la operación y el mantenimiento del sistema de alimentación eléctrica de las PDAP
  - La alimentación de socorro de las PDAP mediante baterías

### Requisitos funcionales fundamentales

- 13.6 En una línea UTO, las PDAP deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:
- Impedir las caídas durante el intercambio de pasajeros entre la plataforma y el Tren y viceversa;
  - Mantener una separación física entre los pasajeros en la plataforma y la vía;
  - Evitar que los pasajeros se muevan entre la plataforma y el Tren, salvo que el Tren se encuentre detenido en la posición de parada nominal.
  - Impedir las caídas, de pasajeros a la vía;
  - Impedir el ingreso a la vía de personas no autorizadas;
  - Impedir el arrojado o caída de objetos a la vía.
- 13.7 Se debe aislar físicamente, en ausencia del tren, el espacio entre el andén de la estación con el del túnel, con funcionalidades principales:
- Las PDM se deben abrir según estado del enclavamiento de puertas, en función de la presencia o no de tren.
  - Las PSE y las PFAP no se podrán abrir manualmente desde el andén, sin una herramienta reservada al personal habilitado.
  - El cierre y la comprobación de las PMD, de las PSE y de las PFAP está permanentemente controlado por el automatismo de las puertas.
- 13.8 Se debe Permitir el intercambio de pasajeros entre el tren y el andén, con funcionalidades principales:
- Tras la recepción de la orden de apertura de los automatismos, el conjunto de las PDM activas debe desenclavarse y abrirse automáticamente de forma simultánea.
  - El estado de apertura total de cada PDM activa es controlada y transmitida a los automatismos. Tras la recepción de la orden de cierre de los automatismos, el conjunto de las PDM activas debe cerrarse y enclavarse automáticamente.
  - Los obstáculos en la apertura y cierre de las PDM deben ser detectados automáticamente, de manera individual, y se paralizará el movimiento de la puerta obstruida. El sistema de PDAP debe limitar la fuerza de choque con un obstáculo durante el cierre de las puertas motorizadas. En caso de detección de un obstáculo, la secuencia de cierre de las PDM será similar a las de las puertas del tren.
- 13.9 Se debe permitir la evacuación de pasajeros desde los trenes y el túnel/viaducto, con funcionalidades principales:
- Las PDM y las PSE accesibles deben abrirse manualmente desde el tren o desde el túnel/viaducto.



- Las PFAP deben abrirse manualmente desde el túnel/viaducto.
- Las puertas abiertas deben cerrarse automáticamente después de la evacuación.

13.10 Se debe permitir el acceso al tren y al túnel/viaducto desde los andenes al personal habilitado, con funcionalidades principales:

- La apertura/cierre manual de las PDAP desde el andén, debe ser posible gracias a una herramienta (como una barra de empuje)
- La apertura/cierre manual de las PDAP desde la plataforma, debe ser posible gracias a una llave especial.

### Requisitos técnicos para la Línea 2

13.11 Los requisitos particulares de la línea 2 son los de una línea principalmente subterránea. Las puertas de andén tienen que ser “Full height”; la interfaz con las plataformas debe ser tratada con mucho cuidado al nivel del techo.

### Requisitos para la Integración con la PLMB T1

13.12 Para asegurarse de que la línea 1 y la línea 2 sean compatibles, los principales requisitos son “físicos”: el número y la posición de las puertas de andén o plataforma deben ser similares con las de la línea 1.

# 14 Alimentación eléctrica

## Descripción General del sistema

14.1 El Sistema de Distribución de Energía conforma el conjunto de equipos e instalaciones estructurado que se despliega en las estaciones de la línea como en emplazamiento externo a la infraestructura ferroviaria que permite el suministro de energía necesaria y segura para el movimiento de la flota de trenes y pasajeros

El sistema de energía comprende los siguientes niveles:

- Nivel de suministro de alta tensión (AT): infraestructura de acometida desde los puntos de suministros pertenecientes al operador de la red de energía pública.
- Nivel de distribución: infraestructura dedicada al transformación y suministro de Media Tensión (MT) de 34.5 kV.
- Nivel de utilización: comprende la infraestructura dedicada a transformación a nivel de utilización, tanto por los trenes como por los usuarios. El sistema debe cumplir las necesidades de energía relativas a:
  - La tracción: potencia requerida para la operación de todo el material rodante sobre la línea.
  - La baja tensión, que comprende:
    - Las instalaciones del sistema operativo de la línea principal y de patios y talleres: señalización, telecomunicaciones, mando, control, supervisión, etc.
    - Los servicios auxiliares de las estaciones, de los edificios los patios y talleres, y del túnel: iluminación, sistemas electromecánicos, ventilación, aire acondicionado, extinción de incendios, etc.

14.2 El modo de alimentación previsto es el siguiente:

### **Suministro de alta tensión y conversión de alta tensión (AT) a media tensión (MT) en cada SER**

14.3 La interfaz con la red pública y su operador de red se hace a dentro de una Subestación Receptora (o SER). La transformación de la alta tensión 115kV a la media tensión 34.5kV se hace por la sucesión de equipos de electrónica de potencia, al mínimo :

- Un cable de llegada de 115 kV y sus accesorios
- Un interruptor 115 kV y los seccionadores 115 kV asociados;
- Un transformador de potencia 115 kV / 34,5 kV;
- Tableros con interruptor 34,5 kV extraíble.
- Cables de 34,5kV, requeridos para su operación.
- Transformador(es) auxiliar(es) para asegurar la alimentación de bajo tensión de la SER.

- 14.4 Los equipos de control y supervisión (con energía de emergencia) y de medición completan la SER. La energía de 34,5 kV está distribuida por anillos de cables.

#### **Distribución en MT a SET y CTE**

- 14.5 La distribución en MT se hace a través de anillos de MT, conectados a las SER. Deben garantizar la alimentación de energía de la Subestación de Tracción (o SET) y de las cabinas eléctricas de Baja tensión (o Centro de Transformación de Energía CTE).

#### **Distribución de la tracción**

- 14.6 El sistema de tracción incluye las SET y todos los aparatos asociados necesarios para la alimentación de la red de tracción de la línea y del Patio-Taller.
- 14.7 La transformación de MT 34,5 kV a la potencia de tracción se hace a dentro de las SET, a través de:
- Tableros de celdas de 34,5 kV, tipo interruptor extraíbles, cada tablero con celdas para la llegada y la salida del anillo de MT;
  - Grupo(s) transformador/rectificador para convertir la MT en 750 Vcc;
  - Tablero(s) de tracción; compuesto(s) de Interruptores ultrarrápidos, para garantizar la seguridad sobre la red de tracción;
  - Cables a 750 Vcc para alimentar el tercer riel.
- 14.8 El sistema de alimentación de tracción deberá suministrar la corriente de tracción (tensión de alimentación de 750 Vcc) hasta el material rodante y permitir el retorno de la corriente al rectificador a través de cables negativos conectados a un tablero negativo equipados con interruptores de emergencia.
- 14.9 Los equipos de control y supervisión (con energía de emergencia) y de medición completen la SET.

#### **Distribución de Baja Tensión (o BT)**

- 14.10 Los CTE deberán ser alimentados en 34,5 kV por medio de los anillos de MT y deberán transformar la energía a la tensión de utilización de los consumidores por medio de transformadores para la alimentación de servicios como iluminación, fuerza, ascensores, escaleras mecánicas, sistemas de protección contra incendios, sistemas de ventilación, etc.

### **Requisitos funcionales fundamentales**

- 14.11 El Sistema de Suministro Eléctrico de Línea 2 deberá proporcionar los elementos y dispositivos necesarios para garantizar la operación de transporte público de las estaciones de la Línea en los aspectos siguientes:
- Suministro de energía para el funcionamiento en modo normal del sistema de transporte
  - Suministro de energía para el funcionamiento en modo degradado del sistema de transporte, en función de los criterios de diseño definidos más adelante.

- 14.12 El principio general es que el fallo de un equipo o función esencial no debe repercutirse en la operación, para lo cual debe existir un equipo o función esencial similar redundante capaz de soportar toda la carga del sistema. Por defecto, el nivel de disponibilidad es similar a la línea 1:
- Fallo de una SER o fallo de un anillo de MT: En caso de una subestación SER fuera de servicio, la operación no deberá estar afectada. Hay dos (2) opciones, dependiendo de las características de la red de alta tensión pública (por ejemplo la disponibilidad o los valores máximos de polución de la red de alta tensión, que se deberán estudiar más adelante):
    - Opción 1 : Las otras SER adyacentes deberán ser capaz de alimentar toda la carga (operación de los Trenes o de las cargas BT) al 100%.
    - Opcion 2 : Cada SER tiene dos (2) conexiones a la red pública, con (2) sistemas independientes de transformación de AT a MT, cada uno dimensionado para satisfacer al 100 % de la carga del anillo.
  - Cada anillo MT deberá alimentar las SET y los CTE de tal manera que, en caso de que se presenten dos equipos defectuosos (modo N-2), en cualquier parte de la red de AT o MT, las SET y los CTE sean alimentadas normalmente.
  - En caso de un elemento fuera de servicio, la operación no deberá estar afectada (Servicio N-1). Solamente la coincidencia de un fallo de dos elementos del sistema de tracción (N-2) deberá tener como consecuencia una operación de los trenes restringida como, por ejemplo, un aumento del intervalo.
  - Fallo de una SER: las otras SER deberán reconfigurar sus anillos de tal forma que puedan alimentar la PLMB de una manera equilibrada.
  - CTE: Cada tipo de transformador de tensión de cada CTE deberá ser redundante. En caso de fallo, cada transformador deberá ser capaz de asumir toda la carga del otro transformador de forma permanente.
- 14.13 El seccionamiento de la tracción al nivel del tercer riel deberá permitir la creación de secciones eléctricas independientes para:
- Aislar secciones fuera de servicio.
  - Operar servicios provisionales de operación.
  - Realizar cualquier otra operación de mantenimiento.
- 14.14 Por otra parte, los rieles deberán tener continuidad eléctrica.
- 14.15 El sistema de tracción del Patio-Taller deberá permitir:
- El funcionamiento de los Trenes entrantes y salientes del Patio-Taller;
  - El funcionamiento de los Trenes al interior del Patio-Taller;
  - La seguridad del Material Rodante y del personal de Mantenimiento.
  - El sistema de tracción del Patio-Taller deberá ser, en operación normal, independiente eléctricamente de la línea principal.
- 14.16 Se deberá validar estos criterios durante el diseño detallado: Todas las instalaciones conformadas por sistemas, equipamientos y componentes deben cumplir con las exigencias RAMS para el diseño, construcción y mantenimiento, recomendadas por las normas y reglamentos correspondientes.

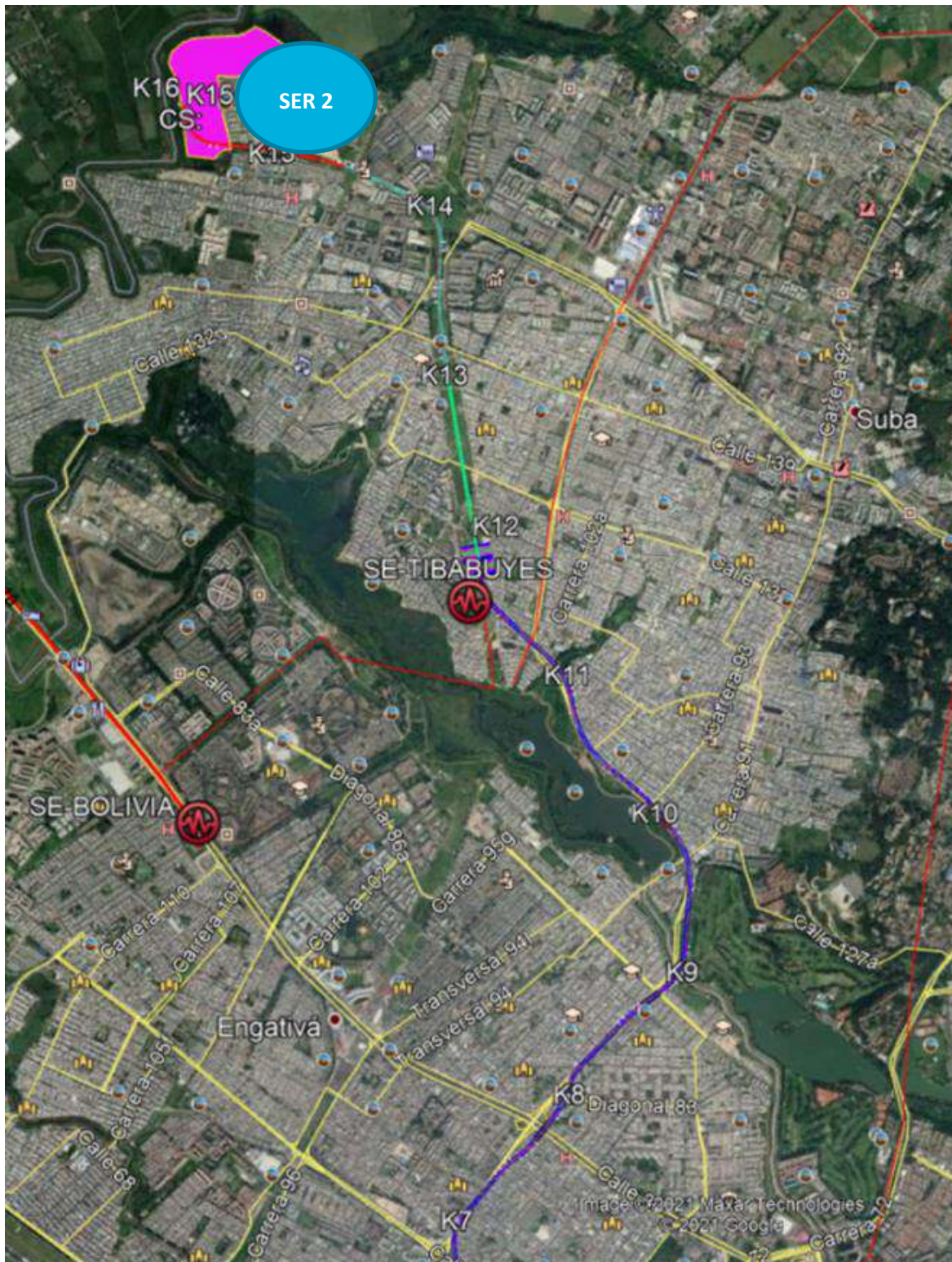
## Requisitos técnicos para la línea 2

### Estimación de los Requisitos de Potencia de la línea (distribución de potencia)

- 14.17 Para estimar la potencia requerida y la ubicación de las conexiones, la potencia de tracción y la de baja tensión debe ser calculada. Dos parámetros deben estar estimados para empezar las discusiones sobre las conexiones con la Red de alta tensión publica:
- La potencia medida, que definirá el consumo de energía;
  - La potencia máxima, que definirá la reserva de potencia en la línea de alta tensión.
- 14.18 Se ha hecho una simulación reproduciendo la línea, incluyendo la configuración de vías, la geometría definida, las limitaciones de velocidad, pendientes, etc. modelando completamente la línea 2. La simulación de potencia de tracción toma en cuenta las suposiciones siguientes:
- Operación de trenes de 7 vagones con intervalo medio de operación 129 s.
  - 4 trenes “en preparación” permanentemente en el patio taller.
  - Para las necesidades de la simulación tracción, se ha considerado una SET cada dos estaciones.
- 14.19 La estimación de los requisitos de baja tensión toma en cuenta las hipótesis siguientes:
- Las estaciones enterradas consumen una potencia media de 1500 kVA (con climatización y ventilación).
  - La estación elevada (fontanar) consume una potencia media de 500 kVA.
  - Se ha considerado un pozo de ventilación entre todas las estaciones enterradas, con un consumo de 250 kVA.
  - El patio taller consuma una potencia máxima de 2500 kVA.
  - Se ha considerado una sobrecarga de 50 % en las estaciones enterradas y los pozos de ventilación para la extracción de humo.
- 14.20 Todas las hipótesis arriba deben ser validada en las próximas etapas del proyecto.
- 14.21 La ubicación de las SER se estimó a partir de las visitas al sitio realizadas por los equipos de EGIS y la información recompilada en la red de alta tensión de la ciudad de Bogotá. En esta fase, se propone:
- Una SER cerca del kilómetro 4 – 5. Se utilizará la estación N° 03 CR 68, ubicada al punto kilométrico 4+618 m, (para fases posteriores se debe analizar la disponibilidad de espacio para la construcción de la subestación); la Subestación más cercana a este SER, es la Subestación Salitre.
  - Una SER en el patio taller, donde no hay preocupación por el espacio disponible. La Subestación más cercana a este SER, es la subestación Tibabuyes.



Figura 14.17 SER 2 Línea 2



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

14.22 Los resultados para la potencia media requerida se dan en la siguiente tabla:

**Tabla 14.20 Potencia media requerida Línea 2**

Estaciones	Tipo de Infraestructura	Punto Kilom.	SET	Potencia media en Baja Tensión requerida	Potencia media de Tracción requerida (RMS)	Potencia total media
Calle72	Enterrada	844,2	Si	1500 kVA	4912 kVA	6412 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
NQS	Enterrada	2818,8		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
	SEAT 1	4618,4		250 kVA		250 kVA
CR 68	Enterrada	4618,4	Si	1500 kVA	5267 kVA	6767 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Av. Boyaca	Enterrada	6138,4		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Cali	Enterrada	7303,3	Si	1500 kVA	4880 kVA	6380 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Cl 80	Enterrada	8522,3		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Cr 91	Enterrada	9539,7	Si	1500 kVA	5267 kVA	6767 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
Humedal	Enterrada	10742		1500 kVA		1500 kVA
	Pozo de ventilación			250 kVA		250 kVA
ALO SUR	Enterrada	12837,7	Si	1500 kVA	5257 kVA	6757 kVA
	Enterrada			0 kVA		0 kVA
ALO Norte	Enterrada	14424		1500 kVA		1500 kVA
	Enterrada			0 kVA		0 kVA
Fontanar	Elevada	15807,5	Si	500 kVA	4440 kVA	4940 kVA
	SEAT 2	16000		250 kVA		250 kVA

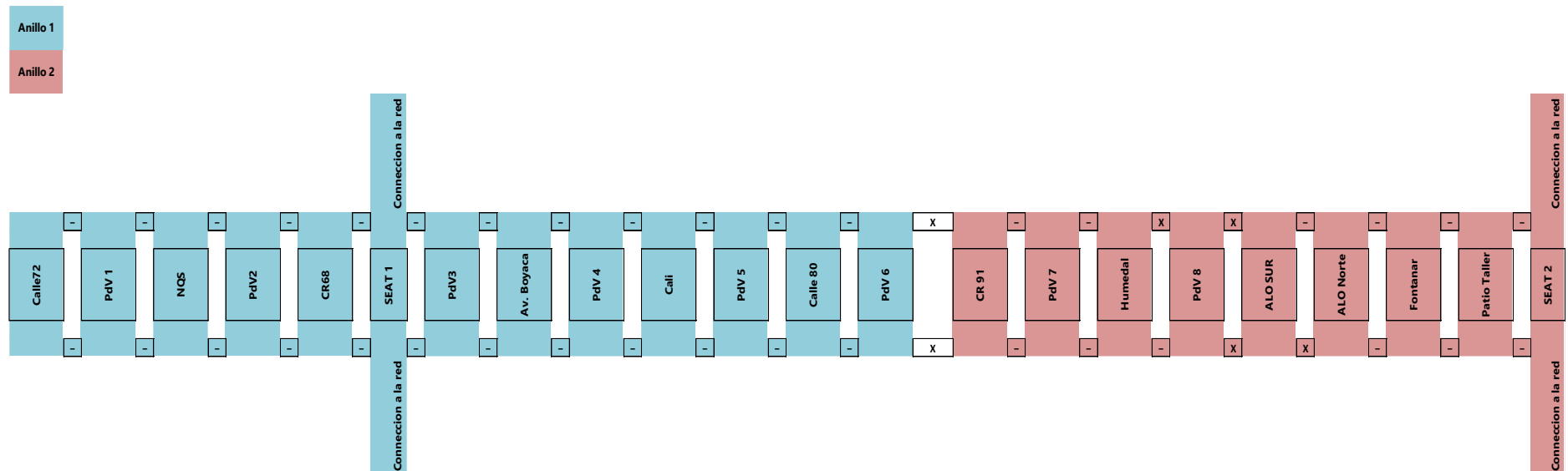


Estaciones	Tipo de Infraestructura	Punto Kilom.	SET	Potencia media en Baja Tensión requerida	Potencia media de Tracción requerida (RMS)	Potencia total media
Taller	Taller	16000	Si	2500 kVA	1120 kVA	3620 kVA
					TOTAL	51643 kVA

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

14.23 El consumo medio de potencia de toda la línea es de 51643 kVA, que deben ser distribuidos entre las dos SER. Dependiendo de las características de la red de suministro de energía pública y de los objetivos de disponibilidad de la línea 2, el tipo de conexión a la red pública deberá ser validada en los próximos estudios. En esta etapa, están considerados dos anillos suministrados cada uno con 2 conexiones independientes a la red pública (opción 1 descrita en 14.12).

Figura 14.18 Consumo medio de potencia Línea 2



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

14.24 Esta configuración permite el reparto más igual de potencia media entre la SER 1 y la SER 2:

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

- SER 1 = 25809 kVA
- SER 2 = 25834 kVA

14.25 El estudio de potencia máxima da los resultados siguientes:

**Tabla 14.21 potencia máxima**

	Anillo 1	Anillo 2
<b>Tracción</b>	43849 kVA	42198 kVA
<b>Baja Tension</b>	15750 kVA	12250 kVA
<b>Total</b>	<b>59599 kVA</b>	<b>54448 kVA</b>

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

## Requisitos para la Integración con la PLMB T1

### Objetivo

14.26 A través de reuniones con el cliente, entendemos la voluntad de mutualizar la red de media tensión 34.5 kV de la línea 2 con la de la línea 1, para aumentar a la disponibilidad de la energía, permitir modos de suministro de energía de emergencia adicionales, y posiblemente permitir a ahorro de coste.

### Impacto sobre la red MT de la línea 1

14.27 Suministrar energía de emergencia desde la línea 1 a la línea 2 resultara una aumentación temporal de la potencia que debe ser suministrada por la línea 1. En consecuencia, el impacto sobre la red MT de la línea 1 podría ser:

- Aumento de la potencia de las SER de la línea 1.
- Aumento de la cantidad de cables.

Esto plantea el problema de fortalecer la red de la línea 1 en operación.

### Distorsión armónica

14.28 Se deberá acordar con el operador de la red de energía la distorsión total de armónicos en tensión máxima permitida. Debe ser estudiado en modo nominal, pero también en modo de suministro de emergencia cuando el / los anillos de la Línea 1 suministra(n) potencia a la línea 2.

El Sistema deberá estar diseñado de acuerdo con la norma IEEE 519, que define “prácticas recomendadas y requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica”.

Los equipos deberán incluir las reservas necesarias para realizar la conexión de un filtro de armónicos si necesario.

### **Caída de tensión máxima**

- 14.29 Aumentar la carga eléctrica sobre un anillo significa aumentar la caída de tensión. Debe asegurarse de que esa caída de tensión no exceda los requisitos del operador de la red pública, en todos los modos de alimentación (nominal y emergencia).

### **Potencia disponible en cada SER**

- 14.30 Si se elige la posibilidad de suministrar la energía de emergencia de una línea a otra, se deberá estudiar la potencia máxima disponible en cada punto de conexión a la red de alta tensión pública en la línea 1 como la línea 2.
- 14.31 Si esta estimación demuestra la imposibilidad de alimentar toda la red en modo de funcionamiento nominal, estudiaremos modos de funcionamiento reducidos.

# 15 Material Rodante

## Descripción del sistema

- 15.1 En un proyecto de Metro, el Material Rodante es la interfaz principal del sistema de transporte con los usuarios de la red. Se debe asegurar los siguientes puntos:
- 15.2 **Seguridad:** El proyecto garantizará la seguridad, activa y pasiva, en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los trenes y cumpliendo los estándares mínimos especificados. Se recuerda, en este sentido, que los trenes han de ser para conducción automática sin personal a bordo, por lo que se ha de disponer en los mismos todos aquellos equipos y sistemas que permitan una operación de esta manera en totales condiciones de seguridad.
- 15.3 **Dimensión ergonómica, accesibilidad y confort:** Los diseños en lo que se refiere a aspecto, decoración, interiorismo, forma, crearán un entorno agradable para los viajeros. También deberán permitir la utilización de los trenes por parte de personas que presenten dificultades de movilidad, discapacidad visual, etc.  
El diseño de los trenes garantizará el cumplimiento y mantenimiento de los parámetros de confort especificados.
- 15.4 **Calidad:** El Fabricante deberá tener un sistema de aseguramiento y gestión de la calidad certificado en los diversos campos de su actividad implicados en el proyecto, y proveer las medidas necesarias para garantizar el cumplimiento de la gestión de la calidad del proyecto.

## Requisitos funcionales fundamentales

- 15.5 Para satisfacer a las sinergias de mantenimiento a largo plazo (cf.) y a las sinergias de “asset Management”, algunas características deben estar fijadas y están descrito en el parágrafo “Requeridos para la integración con la PLMB” (cf. §15.8). Las otras características descritas abajo están basadas sobre la características del material rodante de la línea 1 que se tiene que actualizar durante los estudios de factibilidad. Al estado de los estudios de pre-factabilidad, las características del material rodante son las siguientes.

**Tabla 15.22 Características de material rodante**

Características	Dimensión	Valor
<b>Sistema de transporte</b>	Grado de automatización (EN 62290-1)	GOA4 UTO
	Norma de comodidad	6 pasajeros/m <sup>2</sup>
	Tipo de acoplamiento	solo modo de rescate
<b>Dimensión del Material Rodante</b>	Capacidad por tren, respectando la norma de comodidad	1800 pasajeros
	Longitud total máxima del tren	145 m
	Número de vagones por tren	6 o 7
	Ancho del tren	2,90 m
	Envolvente cinemática ( <i>Kinematic envelope</i> )	Idéntico Línea 1
	Peso máximo por eje con carga excepcional (8 pasajeros/m <sup>2</sup> )	16 Toneladas
	Altura máxima desde la cabeza del riel al techo del Tren	3900 mm
	Altura mínima libre desde el piso al cielo del Coche	2100 mm
	Altura desde la cabeza del riel al piso del Tren	1 100 mm +50/-0
<b>Características Generales de los Coches</b>	Inter circulación	En todo el tren
	Número de espacios PMR (Persona a Movilidad Reducida) por Tren	a definir con la FDN en factibilidad
	Número de puertas por coche, por lado	4
	Ancho libre mínimo por puerta doble	1,40 m
	Flujo de pasajeros por puerta	80 pasajeros/minuto
<b>Energía</b>	Alimentación	Tercer riel
	Tensión	750 Vcc
	Potencia máxima del Tren	5 000 kW
<b>Desempeño (6 pasajeros/m<sup>2</sup>)</b>	Velocidad máxima de servicio	80 km/h
	Velocidad máxima de diseño	90 km/h
	Velocidad máxima en talleres en UTO	25 km/h
	Velocidad máxima en talleres en conducción manual	15 km/h
	Velocidad máxima en la Máquina de Lavado Automática	3 km/h
	Velocidad máxima de acoplamiento entre 2 Trenes	5 km/h

Características	Dimensión	Valor
	Tasa mínima de motorización	60%
	Masa rotacional	10%
	Desaceleración establecida del freno de servicio	1,0 m/s <sup>2</sup>
	Desaceleración del freno de emergencia	1,3 m/s <sup>2</sup>
	Tasa potencial mínima del freno de Servicio eléctrico	100%
	Aceleración mínima de arranque promedio (de 0 a 35 km/h) en carga EL 6	1,1 m/s <sup>2</sup>
	Aceleración residual	0,1 m/s <sup>2</sup>
<b>Características Geométricas de la Vía Férrea</b>	Ancho de vía normal	1 435 mm
	Radio mínimo horizontal en la línea	200 m
	Radio mínimo horizontal en los talleres	100 m
	Radio mínimo vertical en la vía y en los talleres	1 000 m
	Pendiente máxima	3,5%
	Nivel máximo de adherencia con riel seco	0,19
	Nivel máximo de adherencia con riel mojado	0,08

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

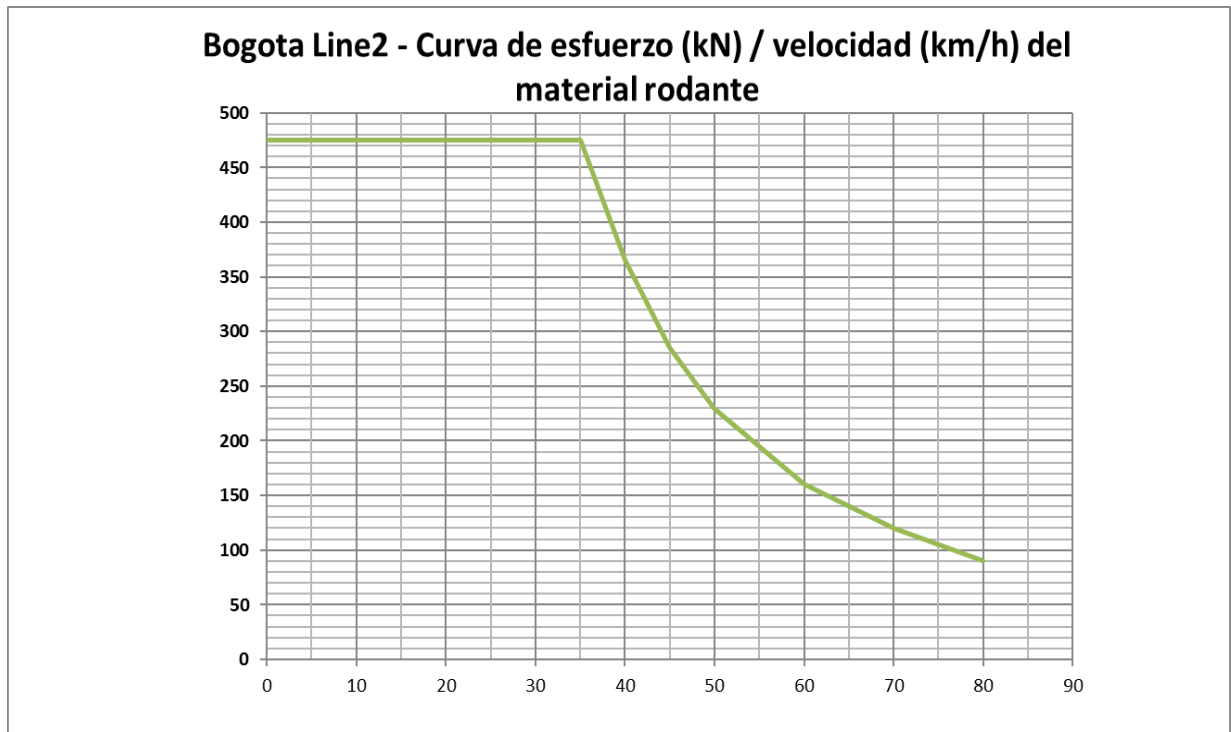
Estas características reflejan principalmente las del material rodante de la línea 1 con algunos ajustes identificados durante este estudio de prefactibilidad:

- Peso máximo por eje con carga excepcional
- Aceleración mínima de arranque promedio (de 0 a 35 km/h) en carga EL 6
- Potencia máxima del Tren
- Nivel máximo de adherencia

15.6 Y algunos parámetros añadidos para definir las exigencias y las condiciones operacionales.

15.7 La curva de esfuerzo / velocidad del material rodante utilizada para calcular el desempeño de la Segunda Línea del Metro de Bogotá es la siguiente:

Figura 15.19 Curva de esfuerzo kN / velocidad del MR



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

## Requisitos para la Integración con la PLMB T1

- 15.8 Para satisfacer a las sinergias de mantenimiento a largo plazo (cf.) y a las sinergias de “asset Management”, el diseño del material rodante debe permitir una circulación manejable sobre la línea 1.
- 15.9 Los requisitos principales siguiente deben tomar en cuenta este principio:
- Compatibilidad física del tren:
    - Ancho de Vía: 1,435 m
    - Ancho del tren: 2,9 m
    - Altura máxima desde la cabeza del riel al techo del tren: 3900 mm
    - Galibo compatible: El galibo estático, el dinámico y el libre de obstáculos (GLO) del tren deben estar compatibles con la línea 1. Este galibo debe respetar el galibo del pasillo lateral (sarcófago):
      - 610 mm = ancho mínimo del área de camino;
      - 760 mm = ancho mínimo a 1 420 mm encima del área de camino;
      - 900 mm = ancho mínimo a 2 050 mm encima del área de camino.
    - Compatibilidad de la captación de energía
      - Tercer riel
      - 750 Vcc



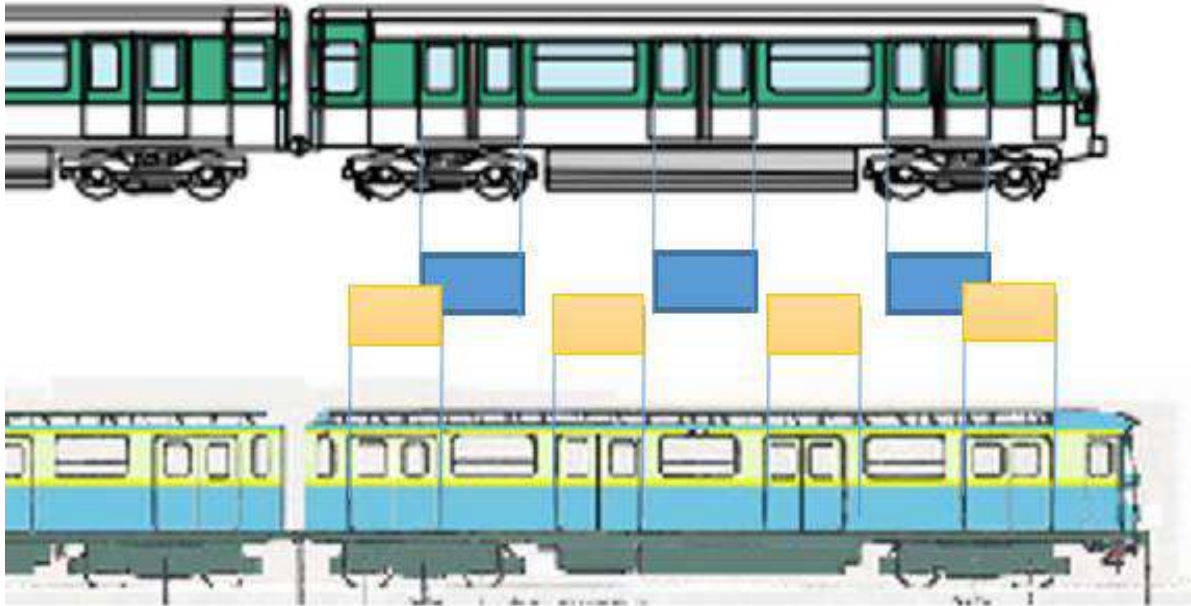
15.10 Además de estos requisitos de integración, se recomienda anticipar el cambio de material rodante en 40 años (lo que representa aproximadamente 4.800.000 km recorridos por tren según el kilometraje anual estimado de la línea 2). A este tiempo, para maximizar la economía de escala, las características del material rodante de la línea 2 deben ser compatibles con el material rodante de la línea 1. El requerimiento principal vinculado es el siguiente:

- Compatibilidad del diagrama de puertas entre los trenes de la línea 1 y de la línea 2

15.11 El diagrama de las puertas esta utilizado para definir la implantación de las puertas de andén o plataforma. Cuando se cambian las puertas de andén o los trenes al fin de vida de estos equipamientos, el diagrama de las puertas es un dato fijo para permitir la conmutación de los sistemas.

15.12 Se presenta en la imagen siguiente dos materiales rodantes que no tienen un diagrama de puertas compatible (MF67 y MF77 en el metro de Paris).

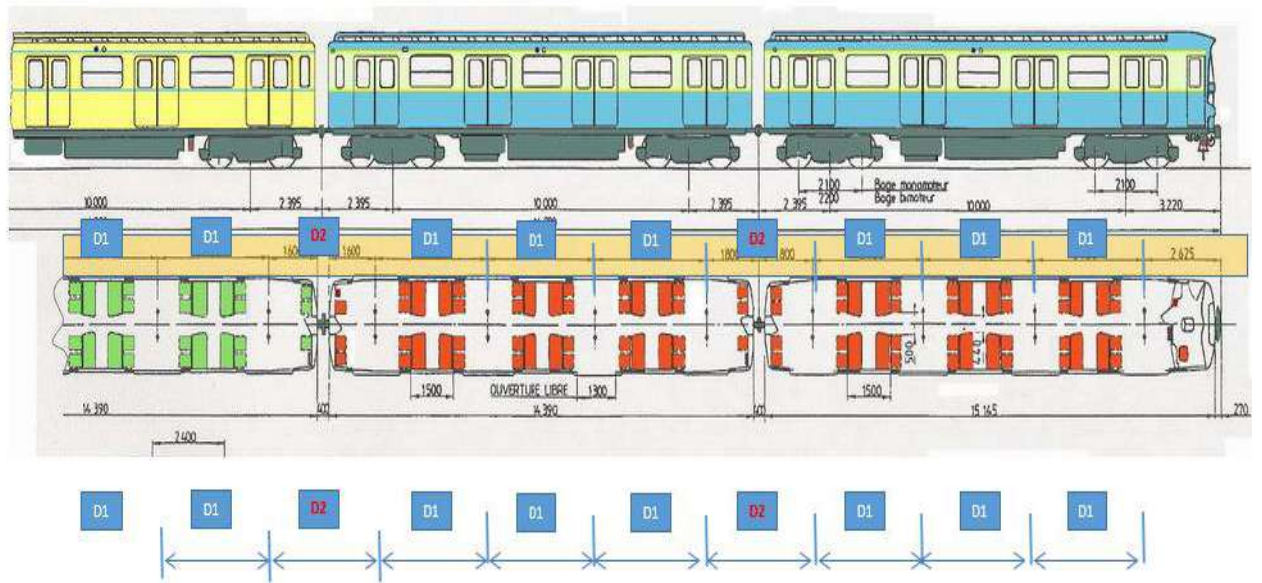
Figura 15.20 Diagrama de las puertas del tren MF67 comparado con el MF77



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

15.13 Si el ancho de cada puerta puede cambiar entre cada tipo de material, la distancia entre cada puerta del tren debe ser la misma que la distancia de los trenes de la línea 1 (D1 y D2 en la imagen siguiente):

Figura 15.21 Diagrama de las puertas del tren MF67



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

# 16 Sistema de Telecomunicaciones

## Descripción de los sistemas

### Sistema troncal de comunicaciones

- 16.1 El sistema de telecomunicaciones es el conjunto de recursos destinados al proceso de la información, que intercambia entre un punto de origen o emisor y un punto destino o receptor.
- 16.2 La línea 2 de Metro de Bogotá requiere un sistema de Comunicación Primaria que une las diferentes ubicaciones con los Centros de Control de Operacional:
- 16.3 Las técnicas de transmisión o subsistema de Comunicación Primaria a implantar en la línea 2 del Metro de Bogotá serán basadas en los estándares Gigabit Ethernet con enlaces a una velocidad mínima de 10Gbps con posibilidad de incrementar la velocidad de sus enlaces sin necesidad de cambio del equipamiento suministrado. En este proyecto esta funcionalidad no es necesaria. Dicha capacidad será tanto en el núcleo como en la capa de distribución y será integrada por equipos capa 2 y capa 3 industriales con un MTBF elevado. Esta función esta soportada por el *backbone* de la red integrada multiservicio utilizando la infraestructura desplegada a tal efecto.
- 16.4 La red ofimática soportará esta red y transportará servicios de telefonía, de voz, de imagen, de información al público, de protección contra incendios, de imágenes, control de pasajeros, telemandos de subestaciones, de instalaciones, de centros de energía y de señalización:
  - Desde el punto de vista topológico se parte del nivel físico (cables de la línea) que incluye cables de fibra óptica y de cobre que interconectan los cuartos de comunicaciones de las estaciones y, típicamente, desde estos hasta los diferentes elementos repartidos por la red.
  - Además, se contemplan los cables radiantes y antenas que permitirán la cobertura radio de túnel y estaciones. La base física que soportará el núcleo del tráfico serán dos cables de 72 fibras ópticas cada uno instalado en cada uno de los hastiales de túnel, entrando y saliendo por todas las estaciones.
  - A ese cableado se unirán los cableados de estaciones que, a partir del cuarto de comunicaciones y a través de canalizaciones previstas para ese tipo de cables, alcanzarán tanto los recintos y cuartos técnicos como los equipos distribuidos por la estación. En concreto se tienden cables hasta los cuartos de energía, subestación, de señalización, de protección contra incendios, de seccionadores, de ventilación, de bombeo, salidas de emergencia y otros cuartos de la estación. Para la conexión de los equipos se utilizará cableado estructurado de cobre o fibra en función de la distancia.

- 16.5 Sobre la red física operará la red Gigabit Ethernet establecida en los niveles de *core*, distribución y acceso distinta de la red principal que utilizará el sistema de señalización: el sistema de señalización dispondrá de una red propia.

#### **Sistema de comunicación tren tierra**

- 16.6 Esta incluido un sistema de comunicación tren tierra de banda ancha que comunique en tiempo real y para cualquier ubicación por la que discurran los vehículos, tanto las imágenes de video de las cámaras embarcadas como otros parámetros del tren o de los vehículos equipados con este sistema.
- 16.7 Este subsistema incluirá tanto los equipamientos a desplegar en la infraestructura de túnel y estaciones como el equipamiento necesario a instalar en los vehículos (equipos y sistema embarcados) para garantizar la conectividad tren-tierra.
- 16.8 Este sistema de comunicación será diferente al usado por el sistema de señalización que dispondrá de un sistema de comunicaciones propio y exclusivo a través del cual se intercambiarán todos los datos que intervengan en dicho sistema, permitiendo la certificación total del sistema de señalización como sistema de seguridad íntegramente.

#### **Subsistema de telefonía automática**

- 16.9 El sistema se basa en el empleo de uno o varios servidores centrales, o Centralita IP redundante, que proporcionan las facilidades de conmutación de llamadas y servicios avanzados.
- 16.10 El sistema se debe basar en la implementación de una central IP redundante con capacidad suficiente para atender operativamente todas las necesidades de línea 2 en sus estaciones, pozos, patios y ambientes técnicos de toda la línea proporcionando facilidades de conmutación de llamadas y servicios avanzados.
- 16.11 La interconexión con otras redes de telefonía se realiza a través de un Gateway modular que proporcione los interfaces necesarios.

#### **Subsistema de telefonía de emergencia**

- 16.12 El subsistema de telefonía de emergencia permitirá a los pasajeros y al personal, en caso de emergencia (accidentes, vandalismo, delitos, etc.), comunicarse a través de una serie de dispositivos, instalados en los túneles a lo largo de lo línea, en las estaciones y en los patios y talleres, con los centros de atención al viajero, habilitados a tal efecto en el Puesto de Control de la Estación, en los Patios y en el Centro de Control Operacional.

### **Subsistema de radiotelefonía tetra**

- 16.13 Se propone una arquitectura hardware redundante en estaciones con una estación base en cada una de las estaciones y, en principio, dos portadoras por estación base. Esta configuración garantizará poder mantener hasta siete conversaciones simultáneas en cada estación.

El centro de conmutación del sistema radio estará distribuido en los dos Puestos de Control existentes, de forma que ante el fallo de uno de ellos el otro se haga cargo de todas las comunicaciones de la línea.

- 16.14 La señal de radio TETRA, se distribuirá por los túneles y estaciones mediante cables radiantes y antenas.

### **Subsistema de megafonía (o difusión sonora)**

- 16.15 El subsistema de Difusión Sonora o Megafonía permitirá la sonorización de la estación en aquellas zonas donde puedan localizarse los usuarios de Metro y el personal, pudiendo seleccionar una, varias o todas las zonas.

### **Subsistema de circuito cerrado de televisión (CCTV)**

- 16.16 El sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV) permitirá la vigilancia centralizada dentro de los trenes y en las infraestructuras del metro (todos los andenes, escaleras mecánicas, ascensores, vestíbulos, pasillos de las estaciones, pozos, áreas de venta de billetes, accesos de las estaciones, y, eventualmente, extremidad de línea, los talleres, recintos y cocheras propios de la operación).
- 16.17 El objetivo del subsistema de CCTV es que todo el trayecto del pasajero, desde la entrada a la estación hasta el embarque en el tren (incluido las salidas de emergencia), esté controlado por alguna cámara.
- 16.18 El sistema incluirá la instalación de tipos de cámaras adecuadas para cada zona que estarán operativas de forma permanente y que se conectarán a un sistema centralizado a nivel local (normalmente en estación) que se encargará de la encriptación y grabación del mismo, y que permita un bajo consumo de banda de la red de transporte y un uso eficiente de los sistemas de almacenamiento local en cada sitio de todas las imágenes.

### **Subsistema de interfonía**

- 16.19 Se utilizará para la implementación de este sistema la tecnología VoIP, que permite la instalación de una sola red (para datos y voz) dentro del ámbito de las estaciones y túneles, lo que supone una ventaja importante ya que evita la instalación de una red específica para la voz.

### **Subsistema de paneles de indicación**

- 16.20 El subsistema de Paneles de Indicación permitirá la gestión y presentación de la información en los diferentes paneles teleindicadores de las estaciones, permitiendo una actualización en tiempo real de las informaciones de todos ellos.
- 16.21 El sistema de paneles de indicación incluye pantallas de información a pasajeros en todas las estaciones (vestíbulos y andenes) y pantallas de información en el interior del material móvil (en cada coche).
- 16.22 Las informaciones que se mostrarán en estos soportes serán del tipo: tiempo de espera hasta el siguiente tren, hora, mensajes variables de operación, eventos, etc. y mensajes de emergencia. Se deberá integrar con los sistemas que faciliten ese tipo de informaciones (sistema de señalización, sistema de relojería...).

## **Requisitos fundamentales**

### **Sistema troncal de comunicaciones**

- 16.23 La telecomunicación debe permitir la transmisión bidireccional entre dos puntos de información cualquier naturaleza: voz, datos, vídeo y radio, que se efectúa a través de medios cableados (fibra óptica y/o cobre) o medios inalámbricos o radioeléctricos.
- 16.24 La Red de Telecomunicaciones proporciona la infraestructura básica necesaria para la interconexión de los diferentes elementos y, evidentemente, su fiabilidad tiene una implicación directa en la disponibilidad del resto de los sistemas, por ello el criterio básico de diseño para la red de comunicaciones tiene que ser la fiabilidad y garantía de disponibilidad
- 16.25 Los equipos de comunicación deberán ser diseñados, entre otros sistemas, para que puedan cumplir las demandas de los sistemas automatizados de subestaciones eléctricas.
- 16.26 La red de Gigabit Ethernet tendrá las redundancias necesarias para evitar puntos de fallo único y conseguir un cierto reparto de la carga del tráfico. Toda la red estará dotada de seguridad y *firewalling* con el fin de protegerla de accesos y actuaciones no deseadas tanto desde el exterior como desde el interior.

### **Sistema de comunicación tren tierra**

- 16.27 El sistema debe permitir integrar los dispositivos embarcados en los vehículos, dentro de la red multiservicio de manera transparente al usuario, permitiendo acceder en todo momento y desde cualquier lugar de la red a los elementos embarcados.
- 16.28 Los servicios que debe soportar esa red tren tierra son, al menos, CCTV en alta definición, telefonía, megafonía, Interfonía embarcada, información al viajero y servicio de monitorización de los datos de vehículo.

### **Subsistema de telefonía automática**

- 16.29 El dimensionamiento de este sistema deberá realizarse en base a un estudio de tráfico de voz concurrente en función de las necesidades operativas y arquitecturas de los ambientes
- 16.30 La telefonía a emplear en una operación ferroviaria, además de los usos tradicionales, añade algunas aplicaciones específicas, derivadas de la peculiaridad de la disposición de las estaciones y el CCO, y las necesidades de establecer conversaciones entre grupos y "tren-tierra" (TETRA), por lo que el sistema a instalar se basará en sistemas de última generación de Telefonía de voz sobre IP (VoIP) que dotarán al sistema de la necesaria flexibilidad.
- 16.31 Para evitar despliegues de infraestructura adicionales, los teléfonos IP deberán soportar la alimentación vía POE para utilizar la infraestructura de transmisión desplegada no solo para el transporte de datos sino también las necesidades de alimentación que estos dispositivos puedan tener.
- 16.32 Este sistema de telefonía automática se deberá integrar con otros sistemas de audio necesarios en la operación como pueden ser TETRA, Interfonía, Telefonía de Emergencia, o sistema de grabación de audio, por tanto, deberá disponer de interfaces estándar de intercomunicación con sistemas de audio externos y con los sistemas de Interfonía.

### **Subsistema de telefonía de emergencia**

- 16.33 El subsistema de telefonía de emergencia es completamente independiente respecto al subsistema de telefonía automática, aunque pueda redirigir llamadas a esta última.
- 16.34 Dada la criticidad del mismo, este sistema deberá ser redundante en transmisión alimentación y procesamiento abarcando las estaciones, áreas técnicas, patios, túneles, SERs, SEATs y todo ambiente que requiera atender algún tipo de incidencia o emergencia.
- 16.35 En concreto, permite establecer comunicaciones selectivas con un grupo de usuarios de dicha línea. Igualmente, en este sistema, en caso de fallo total de conectividad o energía de una estación, los elementos conectados a la misma deberán poder establecer comunicaciones vocales con al menos un terminal instalado en la estación más cercana.

### **Subsistema de radiotelefonía TETRA**

- 16.36 El sistema permite el establecimiento de una prioridad de uso en función de las necesidades operativas que se definan. El subsistema de radio TETRA se usará para aprovisionar las comunicaciones de voz entre el Puesto Central de Control y los usuarios de radio, a bordo o portátiles de mano del personal distribuido a lo largo de la línea.
- 16.37 Desde el punto de vista de cobertura, deberá ser tal que ante el fallo de una estación base, las colaterales sean capaces de dar cobertura a la zona típicamente atendida por la que falle. Como parte de las Especificaciones técnicas de cobertura se deberá incluir el dimensionamiento del sistema móvil y portátil para el interior de la línea en todo el túnel y estaciones; en adición superficialmente para dar cobertura a los patios, talleres, pozos, subestaciones y todas las vías de

acceso a las puertas de estaciones con un radio de 2 Km alrededor de cada una de ellas. Así mismo ante el fallo de una estación base, las colaterales sean capaces de dar cobertura a la zona típicamente atendida por la que falle.

### **Subsistema de megafonía**

- 16.38 El subsistema deberá permitir la división en zonas y tener módulos para el control de la línea de los altavoces y para la compensación del volumen en función del ruido de fondo.
- 16.39 El sistema deberá permitir la transmisión tanto de mensajes hablados en tiempo real como pregrabados.
- 16.40 Este subsistema se considera sistema critico por lo que deberá disponer de los todos los elementos necesarios para garantizar la emisión de mensajes en las condiciones más adversas y cumplir la normativa existente para sistemas de megafonía en locales públicos.

### **Subsistema de circuito cerrado de televisión (CCTV)**

- 16.41 Los requisitos de CCTV son elevados debido a que el sistema de señalización es UTO (GOA4) y es necesaria una visualización con garantía de las diferentes áreas.
- 16.42 Las señales de vídeo procedentes de las cámaras serán enviadas, a demanda desde los CCO o desde cualquier otra ubicación que se determine, a través del sistema de comunicaciones de forma que se puedan visualizar en el CCO en tiempo real o extraídas desde los sistemas de grabación.
- 16.43 Se deberá contemplar el Interface de integración de video con el subsistema de Videovigilancia a bordo del tren que permita la transmisión de video al CCO en tiempo real por selección de cámara utilizando el sistema de comunicaciones del tren tierra y/u otro sistema de comunicación.
- 16.44 El sistema de interfonía permite la comunicación de los viajeros y del personal propio de la empresa desde ciertos puntos, estratégicamente distribuidos en la estación y el túnel.

### **Subsistema de interfonía**

- 16.45 El sistema funcionará de manera independiente al resto de servicios de voz, pero de manera integrada con la telefonía, de forma que las comunicaciones de voz procedentes del sistema pueden redirigirse e integrarse en los terminales de telefonía automática.
- 16.46 El sistema automáticamente se encargará de transferir la llamada al propio personal a cargo de la estación o cualquier otro teléfono programado (generalmente en el CCO), añadirlo a una lista de espera en caso de saturación, o desvío de esa llamada a otro destino en caso de no encontrar respuesta. La lógica de transferencia de la llamada deberá ser configurable y adaptable desde un sistema central sin necesidad de reconfiguración manual de los elementos que componen el sistema



## Requisitos para la Integración con la PLMB T1

- 16.47 De acuerdo con el estudio de sinergias de operación (cf. § 10.13), la supervisión y los sistemas de las dos líneas deben estar independientes en el CCO.
- 16.48 Además, el ciclo de vida de estos sistemas es únicamente de 10 a 15 años (menos que la duración de la concesión de la línea 1).
- 16.49 Sin embargo, los sistemas siguientes tienen que integrar con la línea 1 que forma parte del sistema global de transporte de Bogotá:
- Subsistema de megafonía: Se recomienda de prever una interfaz con la línea 1 en la estación Calle 72. En caso de servicio degradado sobre una línea es importante de informar los pasajeros en conexión entre las dos líneas.
  - Subsistema de paneles de indicación: Además de la información de tráfico sobre la línea 2, se recomienda de proponer información multimodal a los pasajeros. Esta información debe contener las informaciones de la línea 1 y también las informaciones de los otros medios de transporte (Transmilenio)

# 17 Control de Pasajeros

## Descripción del sistema

17.1 El sistema de control de Pasajeros se compone de los equipamientos siguientes:

### Subsistema de Control de Accesos y Peaje

17.2 Comprende el conjunto elementos de control que forman la barrera de puertas automáticas.

17.3 Está formada por Barrera de Control de Acceso (BCA) automáticas de vidrio que deberán permitir además de la validación de los billetes, el suministro de la información de la actividad de transporte de viajeros a través de estos elementos y proporcionar información técnica de los cambios de estado y de alarmas de los propios equipos.

17.4 Las BCA dispondrán de un sistema de fotocélulas y barrera infrarroja y sensores en sentido horizontal y vertical que permita caracterizar la presencia del viajero a lo largo de todo el recorrido en el interior del dispositivo de control de peaje y permitirá el funcionamiento seleccionable unidireccional o bidireccional con puertas en modo abierto o cerrado

17.5 Las dimensiones físicas de paso libre de la puerta automática PAP para el viajero será de 550 mm. La estación dispondrá en las barreras de control de peaje de al menos un paso que permita el acceso de usuarios de movilidad reducida (BCA-PMR), con las mismas características y prestaciones que los equipos convencionales y ancho de paso de 900 mm, así como diseño ergonómico específico orientado a esta finalidad.

17.6 Además, las estaciones equipadas con bici-parqueaderos deben tener BCA-Bici cual tienen las mismas características que las BCA-PMR.

### Subsistema de recaudo

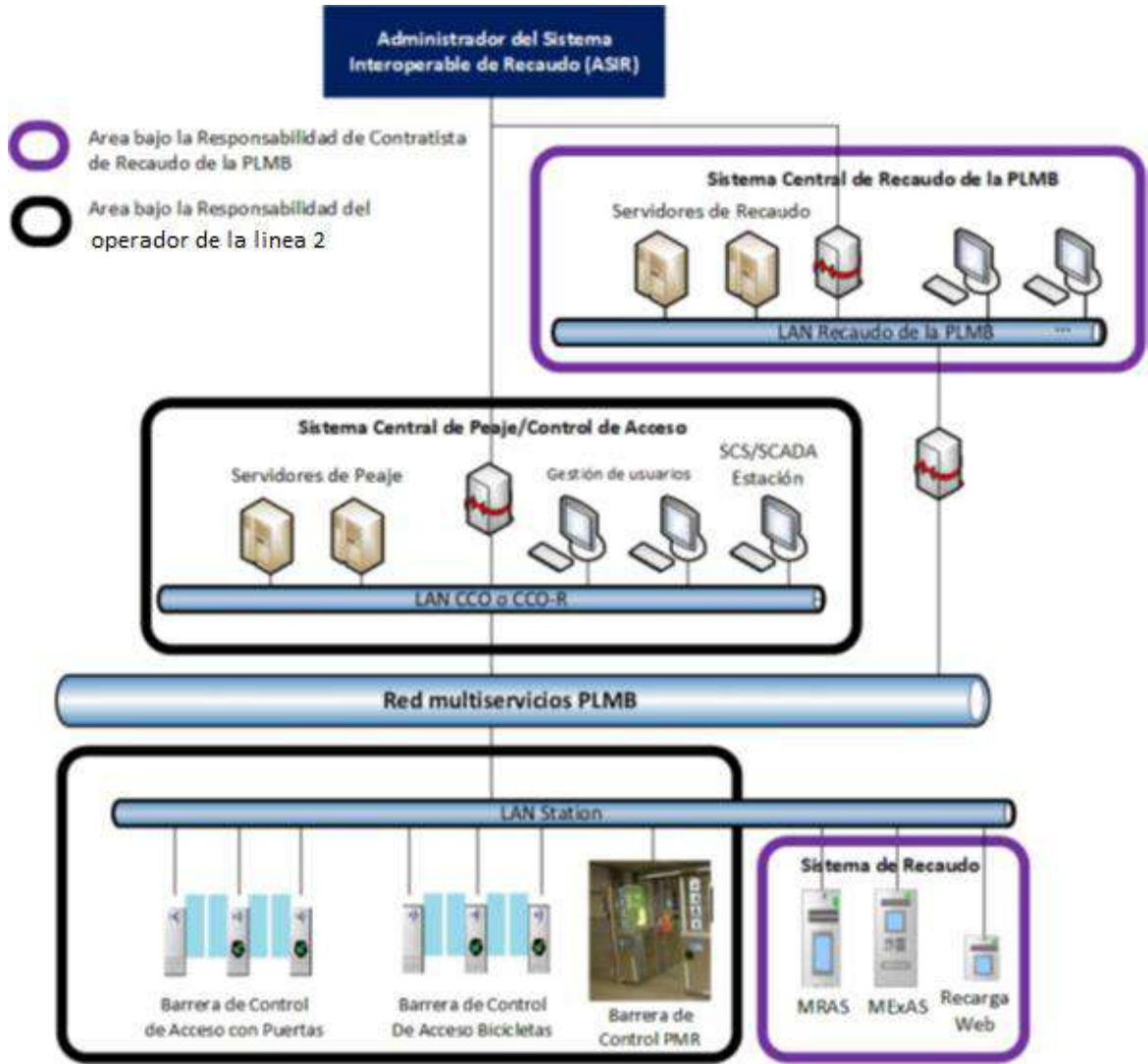
17.7 El subsistema de recaudo comprende el conjunto de máquinas de venta automática y recarga de los mismos desplegadas en los vestíbulos de las estaciones.

17.8 Estas máquinas permiten la activación de carga y consulta de saldo de títulos de transporte en las condiciones definidas por el Sistema Interoperable de Recaudo - ASIR.

17.9 Además, estos sistemas están en interfaz con el sistema central de recaudo que garantice el recaudo y el movimiento de valores provenientes de la venta y recarga de títulos de transporte, y

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  
 el manejo y el movimiento de valores y títulos de transporte que garantizan el proceso de venta y recarga en todas las Estaciones.

Figura 17.22 Diagrama de recaudo



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

## Requisitos funcionales fundamentales

- 17.10 El Sistema de Venta y Control de Pasajeros de Línea 2 deberá proporcionar los elementos y dispositivos necesarios para garantizar la operación de transporte público de las estaciones de la Línea en los aspectos siguientes:

- Suministro a los viajeros de los títulos de transporte para viajar y gestión de la recaudación producto de la venta de títulos.
- Control exacto y eficaz de la afluencia de viajeros que se transportan en la línea en todo momento.
- Gestión eficaz de los datos producidos por los elementos desplegados en las estaciones, máquinas de venta y barreras de control de acceso de viajeros que miden la actividad de transporte público de Línea 2.

17.11 El Sistema de Control de Pasajeros conforma el conjunto de equipos y de instalaciones estructurado que se despliega en las estaciones de la línea orientado a permitir el control de acceso de los usuarios a los andenes de la estación y a los trenes.

### Requisitos para la Integración con la PLMB T1

17.12 El sistema de control de pasajeros está integrado con el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá. La integración de la línea 2 con la línea 1 y con el SITP está asegurado con el respecto de las especificaciones del ASIR

#### **Objetivos del Administrador del Sistema Interoperable de Recaudo (ASIR)**

17.13 Es una organización del Gobierno, independiente y superior a los entes gestores y a los operadores de transportes de Bogotá, encargada de desarrollar las especificaciones de interoperabilidad que garantizan la integración operacional, física, institucional y tarifaria, con base en las cuales se deberán desarrollar los sistemas de Recaudo de la ciudad.

17.14 Estas especificaciones de interoperabilidad definirán las reglas comunes para gestionar correctamente las funciones de distribución y venta, de uso, de control, de servicio posventa de títulos, la independencia de los flujos de información entre operadores y recaudadores, así como la repartición de los ingresos entre todos los entes gestores y operadores de transportes de la ciudad.

17.15 Con respecto al control de acceso será necesario que las condiciones de coexistencia, de validación entrada/salida y trasbordo posible entre distintos operadores sean especificadas por el ASIR.

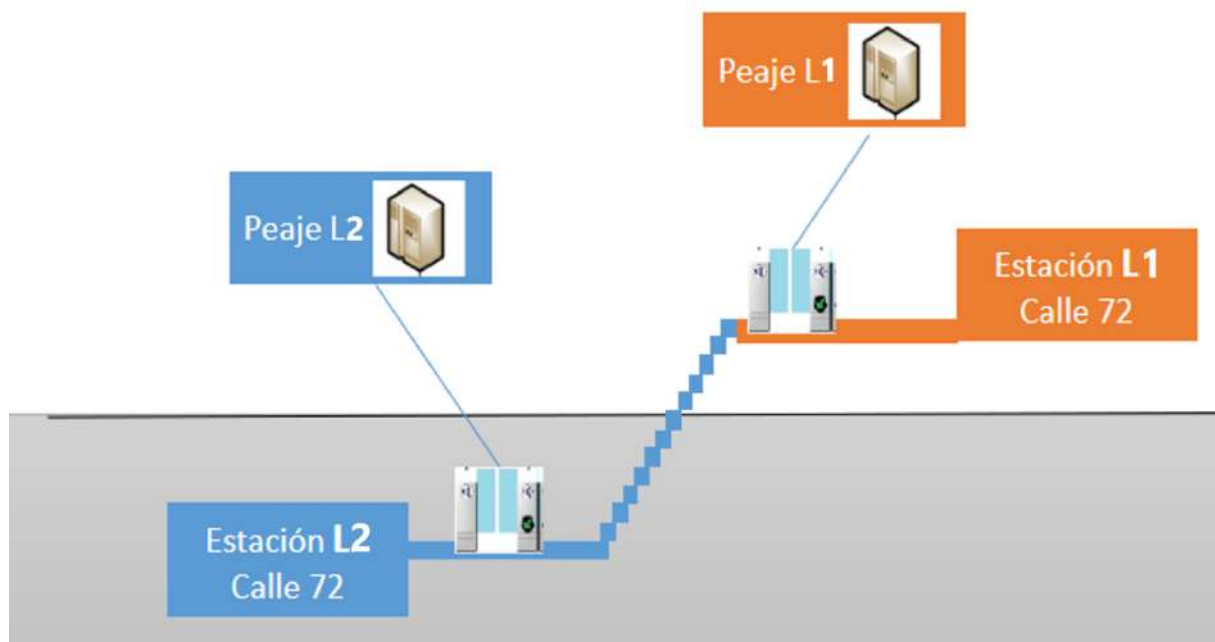
17.16 De acuerdo con la política tarifaria utilizada, se deberá validar el título a la entrada (Estación origen del viaje) y a la salida (Estación destino del viaje para efecto de informes o estadísticas). El cobro se deberá realizar a la entrada.

17.17 La integración entre la línea 1 y la línea 2 se maneja a través de la organización global del SITP.

17.18 En la estación de calle 72, el transbordo entre la línea 1 y la línea 2 debe tener en cuenta que los operadores de las dos líneas sean diferentes. En consecuencia, se tiene que disponer Barreras de

Control de Acceso (BCA) entre las dos líneas. En el metro de Bogotá se tiene que validar el título de transporte a la salida también. Entonces se tiene que poner 2 Barreras de control de Acceso entre las dos líneas: 1 BCA de la línea 1 y 1 BCA de la línea 2.

Figura 17.23 límites de recaudo de peaje entre línea 1 y línea 2



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

# 18 Equipamiento electromecánico

## Descripción del sistema

### Instalaciones eléctricas

18.1 Las instalaciones que deben realizarse en los túneles son:

- alumbrado y tomas de Alarma de Incendio (*Fire Alarm*)
- sistema de detección de temperatura.

18.2 Las instalaciones que deben realizarse en los pozos del túnel son:

- el alumbrado, las tomas de Alarma de Incendio (*Fire Alarm*) en los locales técnicos y disponibles.
- la detección de humo en los locales con presencia de cuadros eléctricos.
- el sistema de detección de intrusión para el control de los accesos a la obra.

### Instalaciones hidráulicas de drenaje

18.3 Considerando el perfil altimétrico de la línea, en los puntos bajos se prevén sistemas de recogida y elevación de las aguas claras que, canalizadas por el sistema de drenaje de la línea, fluyen por gravedad hasta los mismos.

Para los túneles, las aguas claras son las siguientes:

- Aguas pluviales procedentes de las rejillas exteriores de los pozos.
- Aguas pluviales procedentes de la plataforma de la línea en las zonas de enterramiento (ramales), situadas en el límite entre los tramos de los túneles y los tramos exteriores.
- Agua procedente de la activación del sistema de protección contra incendios en las estaciones y túnel.
- Aguas subterráneas que se infiltran a través de los túneles y pantallas a pesar de la impermeabilización de la misma.

18.4 Dichas aguas se recogen mediante la red de drenaje de los túneles y se canalizan en los tanques de bombeo de cada estación o línea, dependiendo de la tendencia altimétrica de la línea.

18.5 Cada tanque de bombeo está equipado con 3 electrobombas que se activan mediante un detector del nivel del agua del tanque. El dimensionamiento de las bombas se efectúa con el fin de asegurar el caudal de proyecto con dos bombas. La tercera es de reserva en caso de avería de las otras. En cualquier caso, el empleo de las tres bombas se realiza de forma alternada para mantener un nivel de desgaste homogéneo.

- 18.6 Las aguas se canalizan a la "cámara de descarga" (a nivel del terreno) que constituyen el punto de entrega de las aguas a la red de alcantarillado de aguas lluvias de la ciudad o a otro lugar autorizado.

### **Sistema de ventilación de túneles**

- 18.7 Para cada tramo de túnel distribuido entre dos estaciones profundas se prevé un pozo de ventilación situado en posición lo más posible baricéntrica, compatiblemente con la infraestructura existente a nivel de superficie (vialidad, edificaciones, etc.).
- 18.8 En los dos extremos de las estaciones adyacentes se prevén dos tomas de aire (pozos de compensación) que ponen directamente en comunicación el túnel con el ambiente exterior. La sección útil de dichas tomas de aire es de unos 15m<sup>2</sup> cada una.
- 18.9 Los pozos de ventilación son estructuras asociadas a la línea que se encuentran en todos los tramos de la sección subterránea profunda. Dichas estructuras son concebidas para dar respuesta a varias exigencias funcionales y de seguridad.
- 18.10 Un pozo puede tener una o varias funciones, como por ejemplo las salidas de emergencia, la ventilación, el bombeo de aguas, etc.
- 18.11 Todos los pozos cuentan con a lo menos:
- Una cámara de ventilación compuesta por ventiladores, silenciadores e instalaciones eléctricas.
  - Dos cuartos técnicos (por redundancia) que contienen las cabinas MT/BT.
  - Salida de emergencia.

En todas las salidas de emergencia, existe la posibilidad de entrar desde ambos pasillos de emergencia/servicio del túnel.

### **Sistema de detección de incendios**

- 18.12 El sistema permite la detección lineal de calor y es capaz de dar información sobre la extensión, la localización y la dirección del incendio a lo largo de los túneles. El sistema incluye:
- las centrales de control de las temperaturas en el túnel distribuidas en las estaciones que contienen los dispositivos ópticos para la emisión del rayo láser, la elaboración y el tratamiento de la señal de retorno, los dispositivos electrónicos adicionales, etc.
  - 1 ordenador de subsistema (C.d.S.) para la gestión y el control local de la instalación y para la interconexión con el CCO (Centro Control Operativo)
  - 1 bucle (espiras) para cada central, cada uno compuesto por cables bi-fibra óptica multi-modo (las dos fibras son una la reserva de la otra) insertadas en una única funda externa. Los cables están fijados a una cuerda colgada a la bóveda de los túneles.

### **Sistema de extinción de incendios con extintores**

- 18.13 En los locales técnicos del interior de las obras de ventilación de los túneles de línea, deben preverse para cada local técnico que contenga equipos eléctricos, un extintor portátil de CO<sub>2</sub> de 5 kg que respete lo que establecen los reglamentos locales contra incendios.

### **Sistema de extinción de incendios con hidrantes**

- 18.14 El sistema de extinción de incendios con hidrantes en los túneles de la línea tiene origen en la central contraincendios de la estación, mediante una central de control.
- 18.15 El sistema debe ser alimentado hidráulicamente por una fuente capaz de suministrar de forma autónoma las condiciones de presión/caudal requeridas por los sistemas contraincendios de la estación.
- 18.16 La tubería alimentará los grupos de tomas hidrantes, compuestos de dos grifos esféricos con unión UNI 45. Adyacente al grupo se fijará a la pared una caja de acero galvanizado esp. 8/10 pintada RAL 3000 de dimensiones aproximadas de 600x500x200 mm con manguera y lanza.
- 18.17 Los grupos de tomas hidrantes del túnel deben estar colocados cerca de los interruptores de emergencia eléctrica, para poder cortar la tensión a la línea de contacto.
- 18.18 La distancia de los puntos de instalación de las tomas hidrantes en el túnel debe ser de 60m. El primer punto de detección de incendios estará a una distancia de la cabeza de estación de 30m.

### **Sistema de extinción de incendios automático con rociadores (“Sprinkler”)**

- 18.19 En caso de avería o incendio de un tren en el túnel, el objetivo es conducir los usuarios hasta la estación; por lo que hay que proteger las estructuras de la vía de circulación de los trenes en correspondencia de la estación. Ésta debe estar protegida con el equipo de extinción de incendios automático con rociadores (“Sprinkler”).
- 18.20 El sistema “Sprinkler” para la protección de la vía de circulación de los trenes para todos los tipos de estación, tiene origen desde la central contraincendios de la estación, mediante una especial central de control, hasta a la superficie de los andenes en correspondencia con las puertas del andén.
- 18.21 El sistema debe estar alimentado hidráulicamente por una fuente capaz de suministrar de forma autónoma las condiciones de presión/caudal requeridas por los sistemas de detección de incendios de la estación.

## **Requisitos fundamentales**

### **Sistema de ventilación de túneles**

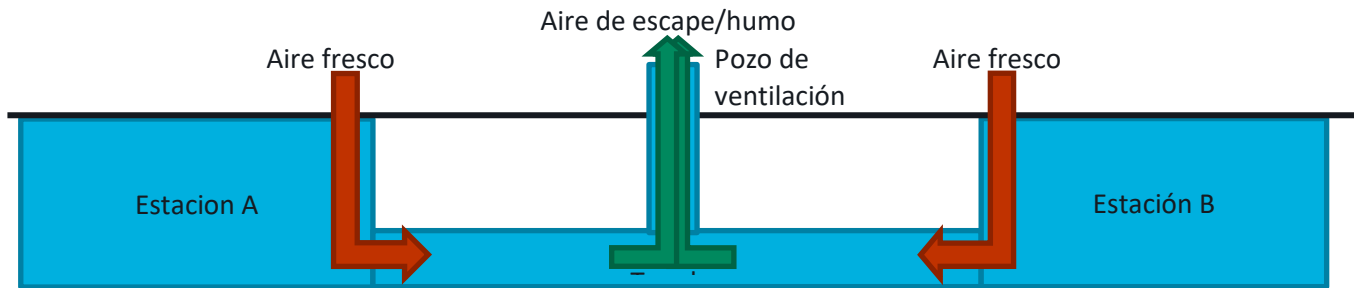
- 18.22 El sistema de ventilación de los túneles tiene las siguientes finalidades:



- permitir, en condiciones de normal funcionamiento de la operación, el recambio de aire en los túneles.
- eliminar, en condiciones de funcionamiento de la operación normal, el calor disipado en los túneles por la circulación de los trenes y la presencia de las personas.
- garantizar, en el caso de incendio, la evacuación de los humos.

18.23 La siguiente figura esquematiza el funcionamiento de la ventilación de los túneles:

Figura 18.24 Sistema de ventilación túnel



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

- 18.24 En el caso de normal funcionamiento de operación, o incluso durante las fases de mantenimiento que se realizan en régimen de suspensión del funcionamiento, la cámara de ventilación funciona en aspiración con un caudal reducido respecto al máximo disponible. Se puede considerar un caudal equivalente al 25% del caudal máximo.
- 18.25 En caso de emergencia por incendio, el caudal se incrementa hasta el nivel máximo disponible. La dirección del aire en todos los tramos del túnel es siempre la misma respecto a la situación anterior, simplemente se aumenta la velocidad.
- 18.26 Este tipo de analogía entre la situación normal y la situación de emergencia comporta la ventaja de que incluso en la primera fase del incendio, y por tanto hasta que todavía no se haya activado el funcionamiento con el máximo caudal, los humos se canalizan en la dirección prevista, facilitando de esta forma las primeras fases de evacuación durante las cuales es importante que todos los pasajeros comprendan claramente cuál es la dirección de evacuación correcta.
- 18.27 El dimensionamiento de la cámara de ventilación es relacionado con la situación de emergencia de incendio. La norma de referencia es la norma americana NFPA 130. Dicha norma prescribe que, en el caso de incendio, se supere la velocidad crítica de los humos la cual depende de la potencia máxima de incendio.

### **Sistema de detección de incendios**

- 18.28 La estructura en “loop” de los cables sensores permite que las centrales del sistema sigan efectuando las mediciones de temperatura (el cable interrumpido se mide desde cada extremo hasta el punto de interrupción), señalando una alarma de “interrupción del cable”.

### **Requisitos para la Integración con la PLMB T1**

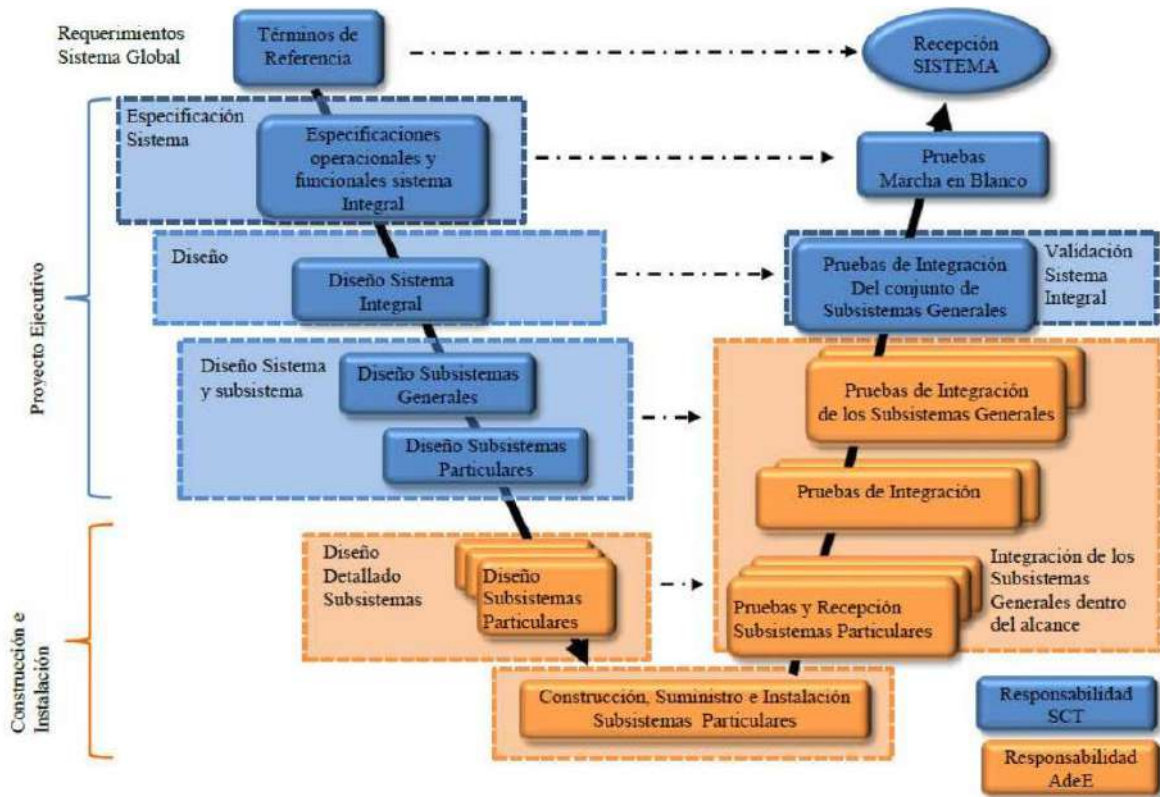
- 18.29 Estos sistemas son independientes de la línea 1. No hay ningún tipo de integración con la línea 1. (Interfaz e Integración).

# 19 Gestión de Interfaz e Integración

19.1 Un proyecto de metro involucra múltiples sistemas, con interfaces múltiples, complejas y varias. La integración de estos sistemas es una actividad central de un proyecto ferroviario. Implica un proceso de desarrollo para especificar y validar los equipos / subsistemas / sistemas y sus interfaces.

19.2 Este proceso de integración es un proceso continuo del inicio al fin del proyecto, siguiendo un ciclo de vida en “V”:

Figura 19.25 interfaz con ciclo en “V”:



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

19.3 Este proceso traduce los requerimientos funcionales, operativos, de desempeño en funcionalidades a cumplir por el sistema y permite describir las funcionalidades y arquitectura al nivel del sistema, después de los subsistemas y de los equipos/ productos

19.4 Este proceso se inicia con la identificación de interfaces técnicas. En esta fase, las interfaces entre los subsistemas principales (o temas) se resumen en la siguiente Matriz de Interfaces:

Figura 19.26 resumen de interfaces subsistemas principales

Ejemplo de Matriz de Interfaces (Nivel Macro)		OBRAS CIVILES ENTERRADAS (TÚNELES Y ESTACIONES)	OBRAS CIVILES ELEVADAS	VENTILACION	EQUIPAMIENTO DE ESTACION	INFRAESTRUCTURAS DE PATIO - TALLER	EQUIPO DE MATAMIENTO	SUPERESTRUCTURA DE VIA	MATERIAL RODANTE	ENERGIA	SEÑALIZACION & CONTROL DE TRENES	TELECOMUNICACIONES	PUERTAS DE ANDEN O PLATAFORMA	SISTEMA DE BILLETEAJE	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	CENTRO DE CONTROL OPERACIONAL	LINEA 1	AUTORIDADES EXTERNAS	
Tema		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	
OBRAS CIVILES ENTERRADAS (TÚNELES Y ESTACIONES)	T1		T1 / T2	T1 / T3	T1 / T4		T1 / T6	T1 / T7	T1 / T8	T1 / T9	T1 / T10	T1 / T11	T1 / T12	T1 / T13					T1 / T17
OBRAS CIVILES ELEVADAS	T2				T2 / T4	T2 /	T2 / T6	T2 / T7	T2 / T8	T2 / T9	T2 / T10	T2 / T11	T2 / T12	T2 / T13					
VENTILACION	T3									T3 / T9			T3 / T12		T3 /	T3 /			
EQUIPAMIENTO DE ESTACION	T4									T4 / T9	T4 / T10	T4 / T11	T4 / T12	T4 / T13	T4 /	T4 /			
INFRAESTRUCTURAS DE PATIO - TALLER	T5						T5 / T6	T5 / T7	T5 / T8	T5 / T9	T5 / T10	T5 / T11							
EQUIPO DE MATAMIENTO	T6							T6 / T7	T6 / T8	T6 / T9					T6 /	T6 /			
SUPERESTRUCTURA DE VIA	T7								T7 / T8	T7 / T9	T7 / T10				T7 /	T7 /			
MATERIAL RODANTE	T8									T8 / T9	T8 / T10	T8 / T11	T8 / T12		T8 /	T8 /			
ENERGIA	T9										T9 / T10	T9 / T11	T9 / T12	T9 / T13	T9 /	T9 /	T9 /	T9 /	T9 / T17

Ejemplo de Matriz de Interfaces (Nivel Macro)		OBRAS CIVILES ENTERRADAS (TÚNELES Y ESTACIONES)	OBRAS CIVILES ELEVADAS	VENTILACION	EQUIPAMIENTO DE ESTACION	INFRAESTRUCTURAS DE PATIO - TALLER	EQUIPO DE MATAMIENTO	SUPERESTRUCTURA DE VIA	MATERIAL RODANTE	ENERGIA	SENAIZACION & CONTROL DE TRENES	TELECOMUNICACIONES	PUERTAS DE ANDEN O PLATAFORMA	SISTEMA DE BILLETEAJE	SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL	LINEA 1	AUTORIDADES EXTERNAS
Tema		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
SENAIZACION & CONTROL DE TRENES	T10											T10 / T11	T10 / T12		T10 /	T10 /		
TELECOMUNICACIONES	T11												T11 / T12	T11 / T13	T11 /	T11 /	T11 /	
PUERTAS DE ANDEN O PLATAFORMA	T12														T12 /	T12 /		
SISTEMA DE BILLETEAJE	T13														T13 /			T13 / T17
SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	T14															T14 /		
CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL	T15																T15 /	
LINEA 1	T16																	
AUTORIDADES EXTERNAS	T17																	

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

19.5 Deberán desarrollarse todas las interfaces entre los temas / sistemas definidos en la matriz, con los subsistemas componiendo los sistemas. Por ejemplo, el tema “Energía” contiene los subsistemas siguientes:

- Suministro de alta tensión y acometidas de media tensión;
- Subestaciones rectificadoras;
- Retorno de Tracción;
- Sistema de protección contra corrientes de fuga - Cables de compensación;
- Sistema de puesta a tierra y Pararrayos;
- Subestaciones auxiliares (Baja Tensión);
- Equipos de tracción en línea (tercer riel).

## HOJA DE CONTROL

### Preparado por

---

Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá  
Carrera 15 #93a-62 Oficina 602  
Teléfono. 746 04 03  
Bogotá D.C. Colombia  
+57 1 7460403

### Preparado para

---

Financiera de Desarrollo Nacional - FDN  
Av. Carrera 7 No. 71 - 42  
Torre B Piso 6  
Bogotá D.C. Colombia

### Nº Proyecto/propuesta Steer

---

23858501

### Referencia cliente/nº proyecto

---

Contrato FDN 033 de 2020

### Autor

---

Unión Temporal Egis Steer Metro de Bogotá

### Revisor/autorizador

---

### Otros colaboradores

---

### Distribución

---

Cliente:

Steer:

### Versión

---

2

### Fecha

---

18-05-2021





