



**REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y  
FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1  
HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON  
LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE  
CONCESIÓN NO. 163 DE 2019**

**ENTREGABLE 2.1.B  
INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO  
GEOMÉTRICO FÉRREO**

Documento No. EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

Elaborado por:



---

Bogotá D.C.  
2022

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

## CONTROL DE CAMBIOS

### ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de la Asesoría)

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
A	21-02-2022	-	Versión inicial para revisión de FDN / EMB.
B	18-03-2022	-	Versión corregida según comentarios FDN / EMB e Interventoría
C	11-04-2022	-	Versión corregida según comentarios FDN / EMB e Interventoría
0	30-04-2022	-	Versión aprobada según Rad. EXTS22-0002449 del 29-04-2022

### REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de la Asesoría)

Preparó:  F. Cremonese 30-04-2022	Revisó:  A. Alves 30-04-2022	Revisó:  F. Sánchez C. 30-04-2022	Aprobó:  M. Cermesoni 30-04-2022
Unión Temporal	Coordinación U.T.	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Director de la Estructuración

### REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de FDN)

Juan Camilo Pantoja Vela 30-04-2022
Gerente de Estructuración

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. MARCO CONTRACTUAL	7
1.2. CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1	8
1.3. MARCO LEGAL	10
2. ENFOQUE METODOLÓGICO	11
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1	11
2.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	13
2.3. CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA PLMB	14
2.3.1. Normas	14
2.3.2. Velocidades	14
2.3.3. Trazado en planta	14
2.3.4. Gálibos	16
2.3.5. Perfil longitudinal	17
3. ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO	18
3.1. INTRODUCCIÓN	18
3.2. EMPLAZAMIENTO DE ESTACIONES	19
3.3. CRUCE DE LA INTERSECCIÓN DE LA AUTOPISTA NORTE, AV. NQS Y CALLE 92	20
3.4. ALTERNATIVAS DE TRAZADO	21
3.4.1. Alternativa 1	21
3.4.2. Alternativa 2	25
3.4.3. Alternativa 3	29
3.4.4. Alternativas 4	33
3.4.5. Alternativas 5	37
3.4.6. Alternativas 6	41
3.5. INTERFERENCIAS CON LA ESTRUCTURA AMBIENTAL, HÍDRICA E HIDRÁULICA DE LAS ALTERNATIVAS	45
3.5.1. Zonas de manejo y preservación ambiental.	45
3.5.2. Sistemas de acueducto	46
3.5.3. Sistemas de energía eléctrica existente	48
4. ANÁLISIS MULTICRITERIO	50
4.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO	50
4.1.1 Construcción de la jerarquía	50
4.1.2 Definición del objetivo	51
4.1.3 Definición de los componentes y criterios	51
4.1.4 Asignación de pesos a los componentes criterios	55
4.1.5 Asignación de puntaje a las alternativas	56

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

4.2 RESULTADOS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO	57
5. CONCLUSIÓN	60

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Trazado de la PLMB	12
Ilustración 2: Trazados PLMB y L2MB con punto de interconexión y trazado preliminar de la EXT PLMB	13
Ilustración 3: Vista en planta del “nodo calle 92”	14
Ilustración 4: Esquemas de alternativas	19
Ilustración 5: Cadencia de estaciones	20
Ilustración 6: 3 posibles emplazamientos de estaciones en el “nodo calle 92”.	21
Ilustración 7: Vista en planta Alternativa 1, Tramo calle 72-calle 90	23
Ilustración 8: Vista en planta Alternativa 1, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur	24
Ilustración 9: Vista en planta Alternativa 1, Tramo calle 100 Norte	25
Ilustración 10: Vista en planta Alternativa 2, Tramo calle 72-calle 90	27
Ilustración 11: Vista en planta Alternativa 2, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur	28
Ilustración 12: Vista en planta Alternativa 2, Tramo calle 100 Norte	29
Ilustración 13: Vista en planta Alternativa 3, Tramo calle 72-calle 90	31
Ilustración 14: Vista en planta Alternativa 3, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur	32
Ilustración 15: Vista en planta Alternativa 3, Tramo calle 100 Norte	33
Ilustración 16: Vista en planta Alternativa 4, Tramo calle 72-calle 90	35
Ilustración 17: Vista en planta Alternativa 4, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur	36
Ilustración 18: Vista en planta Alternativa 4, Tramo calle 100 Norte	37
Ilustración 19: Vista en planta Alternativa 5, Tramo calle 72-calle 90	39
Ilustración 20: Vista en planta Alternativa 5, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur	40
Ilustración 21: Vista en planta Alternativa 5, Tramo calle 100 Norte	41
Ilustración 22: Vista en planta Alternativa 6, Tramo calle 72-calle 90	43
Ilustración 23: Vista en planta Alternativa 6, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur	44
Ilustración 24: Vista en planta Alternativa 6, Tramo calle 100 Norte	45
Ilustración 25: Zona de la extensión de la PLMB-Tramo 1	46
Ilustración 26: Canal Virrey – tramo paralelo con la Autopista Norte	47
Ilustración 27: Canal Virrey	48
Ilustración 28: Línea de alta tensión de 115 kV	49
Ilustración 29: Línea de media tensión de 11.4 kV	50
Ilustración 30: Diagrama de la jerarquía	52

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

BRT: Bus Rapid Transit (Buses de Tránsito Rápido).

CAPEX: Capital Expenditure (Costo de Inversión).

EMB: Empresa Metro de Bogotá.

FDN: Financiera de Desarrollo Nacional.

GoA4: Grade of Automation 4 in standard IEC 62267 (Grado de Automatización 4 en la norma IEC 62267 - para operación automática sin conductor a bordo).

L2MB: Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá.

OPEX: Operational expenditures (Gastos Operativos).

PLMB: Primera Línea del Metro de Bogotá.

SITP: Sistema Integrado de Transporte Público.

TdR: Términos de Referencia.

Distancia interestación: Distancia entre dos estaciones y se mide entre los puntos medios de cada ellas.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. MARCO CONTRACTUAL

La EMPRESA METRO DE BOGOTÁ (**en adelante EMB**) y la FINANCIERA DE DESARROLLO NACIONAL (**en adelante FDN**), suscribieron el Contrato Interadministrativo 277 de 2021 (**en adelante el Contrato Interadministrativo**) que inició el 25 de noviembre de 2021, para realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 (**en adelante EPLMB o el Proyecto**) en sus componentes técnicos y financiero.

En virtud de las obligaciones derivadas del Contrato Interadministrativo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y la Unión Temporal Extensión Metro Línea 1, conformada por las empresas SYSTRA S.A. Sucursal Colombiana e INGETEC INGENIERÍA Y DISEÑO S.A.S., (**en adelante la Asesoría**), suscribieron el Contrato 85/2021 cuyo objeto es Acompañar a la FDN en las actividades de estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas establecidas en el Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021. Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

Así mismo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS COLOMBIA S.A.S., (**en adelante la interventoría**), suscribieron el Contrato 86/2021 cuyo objeto es la interventoría técnica, administrativa, legal y financiera a los estudios y diseños técnicos de factibilidad que hacen parte del Contrato de Consultoría cuyo objeto es “Asesorar a la FDN en la estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre la EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el “Contrato de Concesión No. 163 de 2019”)”. Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

El presente documento corresponde al entregable No. 2.1.B a cargo de FDN, el cual se integra a las obligaciones de la FDN derivadas del Contrato Interadministrativo 277 de 2021. Este informe es denominado “*Informe de alternativas de emplazamiento geométrico férreo*” y presenta el estudio de las posibles alternativas de emplazamiento geométrico que permitan la conexión entre el tramo 1 de la PLMB y el sector de la calle 100 con Autopista Norte.

El presente informe consta de los siguientes capítulos:

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN (este capítulo).

Capítulo 2: ENFOQUE METODOLÓGICO.

Capítulo 3: ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FERREO.

Capítulo 4: ANÁLISIS MULTICRITERIO.

Capítulo 5: CONCLUSIÓN.

Nota: Todas las tablas, figuras y fotografías incorporadas en el presente documento que no tienen indicada la fuente de donde provienen fueron generadas por las empresas integrantes de la Asesoría.

### 1.2. CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1

El 26 de diciembre de 2014, el IDU y LA FDN suscribieron el Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, el cual tiene por objeto “Aunar esfuerzos para el desarrollo de las actividades relacionadas con la estructuración

integral del proyecto “Primera Línea del Metro de Bogotá” en dos fases, a saber: Fase 1, denominada “Diseño de la transacción” y Fase 2, denominada “Estructuración integral”. Mediante documento de cesión de fecha 10 de marzo de 2017, el IDU cedió a la Empresa Metro de Bogotá S.A. (EMB) su posición contractual en el Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014.

En la ejecución del Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, el 03 de febrero de 2017, la FDN celebró el contrato 002 de 2017 con el Consorcio Metro Bog integrado por la sociedad colombiana INGENIEROS CONSULTORES CIVILES Y ELÉCTRICOS S.A. INGETEC S.A., y por la sociedad francesa SYSTRA, cuyo objeto fue la “Estructuración Técnica de Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá”. Este contrato fue desarrollado en su totalidad y los entregables derivados del mismo fueron aprobados por LA EMB, LA FDN y la correspondiente interventoría.

Consecuentemente, la FDN suscribió el contrato 003 de 2017 con el Consorcio Metro, conformado por la sociedad Sener Ingeniería y Sistemas Colombia SAS, y por la sociedad Integral SA con el objeto de realizar la “Interventoría técnica, administrativa, legal y financiera de los estudios y diseños a realizar dentro del contrato de consultoría para la estructuración técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá.”

Como resultado de la ejecución del Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, y del contrato 002 de 2017, LA EMB adelantó el proceso de selección y celebró el contrato de Concesión N.º 163 de 2019 para la ejecución del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB – T1) con Metro Línea 1 S.A.S.

El alineamiento estratégico del proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá fue definido con la expedición del Decreto 398 de 2009, "Por el cual se informa a la ciudadanía de Bogotá D.C., el resultado de la Consultoría "Diseño conceptual de la Red de Transporte Masivo Metro y dimensionamiento y estructuración técnica, legal y financiera de la línea metro, en el marco del SITP para la ciudad" y se ordenan unas actuaciones administrativas y urbanísticas", con base en los resultados de la consultoría mencionada y siguiendo las directrices del Plan de Ordenamiento Territorial (Decreto 190 de 2004) y del Plan Maestro de Movilidad (Decreto 319 de 2006).

Dentro del proceso de maduración del proyecto de la PLMB, el alineamiento al que se refiere el anterior párrafo fue modificado en ciertos tramos con base en el desarrollo y los resultados de varios estudios y diseños adelantados entre los años 2013 y 2016. No obstante, siempre se mantuvo la concepción inicial de conectar el sector sur -occidental con el borde oriental y, este último, con el sector nororiental de la ciudad.

Las modificaciones efectuadas al Decreto 398 de 2009 han sido las siguientes:

1. Mediante Decreto Distrital 577 de 17 de diciembre de 2013 se modificó el artículo 1º del Decreto 398 de 2009, con el fin de precisar y adoptar el trazado general del Proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB, contenido y delimitado en el Mapa Anexo No. 1 - Primera Línea Metro-. En este decreto el trazado fue modificado en un tramo central entre la localidad de Kennedy y el centro de la ciudad.
2. Mediante el Decreto Distrital 425 de 2014 que adicionó el Decreto Distrital 577 de 2013, se efectuó el anuncio de la implementación del Ramal Técnico de Conexión al trazado del Proyecto de la PLMB.
3. Como resultado de estudios técnicos y económicos realizados entre los años 2016 y 2017, se expidió el Decreto Distrital 318 de 16 de junio de 2017 por medio del cual el trazado del Proyecto PLMB fue modificado en su parte central, sustituyendo el corredor de la Carrera 13, Carrera 11 y Carrera 9 por el corredor Avenida Caracas y Autopista Norte.
4. Mediante Decreto 634 de 2017 se integró al anuncio del Proyecto de la PLMB, el Ramal Técnico de Conexión y la localización del Patio Taller

De conformidad con lo establecido en el Documento CONPES 3882 de 2017, posteriormente ratificado en el Documento CONPES 3899 de 2017, y debido a la restricción presupuestal tanto de la Nación como de Distrito, la Primera Línea del Metro de Bogotá se estructuró para ser ejecutada en dos tramos así:

- Tramo 1 comprendido entre el “Patio-taller ubicado en la localidad de Bosa hasta la estación Calle 72 incluida la cola de maniobras que va hasta la calle 80 y Tramo 2 iniciando en Calle 80 hasta la calle 127 con Autopista Norte”.

De conformidad con lo establecido en el documento CONPES 3900 de 2017, el Proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá (“PLMB-TRAMO 1”) “(...) iniciará desde el patio-taller en la localidad de Bosa, hasta la calle 127” y declaró “(...) de importancia estratégica el proyecto Primera Línea del Metro para Bogotá tramo 1 (...)”

De acuerdo con su objeto social, está en cabeza de LA EMB adelantar la planeación, estructuración, construcción, operación, explotación y mantenimiento de las líneas férreas y de metro que hacen parte del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá.

De acuerdo con las definiciones de estudios de ingeniería de la Ley 1682 de 2013 sobre los proyectos de infraestructura de transporte, la EMB requiere estudiar las alternativas de trazado para llevar a cabo la extensión de la PLMB- TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista Norte, así como realizar la factibilidad técnica, legal y financiera de la misma.

LA EMB determinó la necesidad de llevar a cabo la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista norte tomando como referencia, en términos generales, las especificaciones técnicas del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre LA EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el “Contrato de Concesión No. 163 de 2019”). En este sentido, la EMB requiere analizar y determinar la viabilidad de la extensión de la PLMB, dentro de ellas, la adición del contrato de concesión desde el punto de vista técnico, legal y financiero.

La tipología de la infraestructura de la extensión será similar a la desarrollada para la PLMB - TRAMO 1 hasta la calle 72; esto es una tipología 100% en viaducto con los mismos sistemas metroferroviarios, de modo que se logre una línea de metro que opere integralmente, incluido el nuevo tramo de la extensión.

Dada la necesidad de LA EMB de contar con el análisis, estudios y diseños técnicos y financieros para adelantar la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista Norte, LA EMB y LA FDN suscribieron el Contrato interadministrativo 277 de 2021 con el objeto de “Realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019.”

Se resalta que el componente legal y de integración de los estudios no hace parte del contrato 277 de 2021 mencionado anteriormente; estos estarán a cargo de LA EMB.

Teniendo en cuenta los antecedentes descritos, y de acuerdo con la necesidad de realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista norte, de acuerdo con las definiciones técnicas establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019, la FDN contrató una asesoría técnico especializado que acompañe a la FDN en la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 (EPLMB) hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas complementarias del contrato 277 de 2021 firmado entre la EMB y la FDN, al cual ya se hizo referencia.

### 1.3. MARCO LEGAL

Este documento corresponde al entregable 2.1B denominado “Informe de alternativas de emplazamiento geométrico férreo” que hace parte de las obligaciones asumidas por la FDN en el marco del contrato 277 de 2021,

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

así como por la U.T. Extensión Metro Línea 1 con FDN, en virtud de lo previsto en el Contrato 085/2021. Este documento genera una metodología de relacionamiento entre FDN y el Asesor, y a su vez con la EMB.

De conformidad con lo anterior, para la Asesoría es claro y actuará en consecuencia con las siguientes consideraciones:

- La EMB no tiene relación ni responsabilidad alguna frente a los subcontratistas de FDN, en este caso la Asesoría.
- La FDN recibirá, revisará e integrará los productos entregados por su asesor técnico<sup>1</sup>.

En consecuencia:

1. El canal formal de comunicación verbal y escrita entre EMB y la Asesoría será la FDN.
2. Todos los productos a cargo de la Asesoría serán dados a conocer a EMB a través de FDN, quien posteriormente recibirá de EMB las observaciones que correspondan, o las aprobaciones si son del caso, para transmitirlos a la Asesoría.
3. Lo anterior sin perjuicio de lo que EMB y la Asesoría puedan tratar de manera directa en reuniones y talleres de trabajo con presencia de representantes autorizados de FDN.

---

<sup>1</sup> De acuerdo con el contrato 277 de 2021, la Interventoría (SENER) hará seguimiento, control, análisis, revisión, evaluación y aprobación de los entregables técnicos del contrato.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

## 2. ENFOQUE METODOLÓGICO

En este capítulo, se presentan los aspectos más destacados del enfoque metodológico que se ha empleado para el estudio de las alternativas de emplazamiento geométrico férreo.

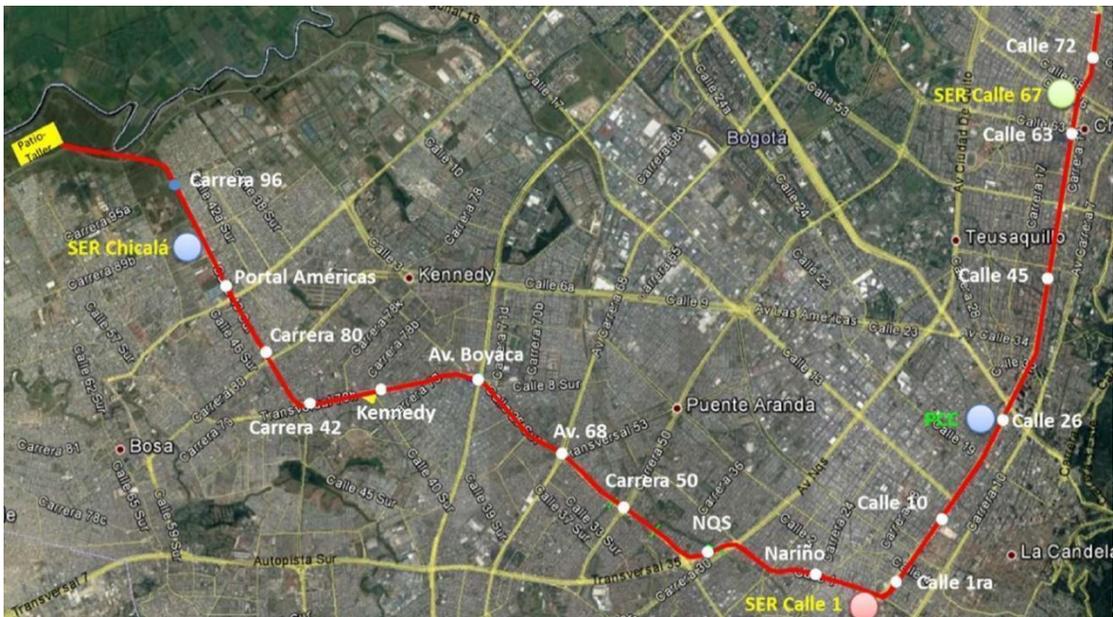
### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1

De acuerdo al documento ETPLMB-ET05-L01-ITE-F-0001\_R0, la Primera Línea de Metro de Bogotá tiene su origen al Oeste de Bogotá y se finaliza a proximidad del antiguo monumento Los Héroes, con una longitud total de 23,8 km aproximadamente, de los cuales 2200m de ramal técnico entre la línea y talleres-cocheras.

La totalidad de la línea entre estaciones discurre en viaducto.

El trazado se inicia en el Noroccidente, en la zona de talleres y cocheras (PK Origen) en el Corzo. Luego continúa por la Av. del Tintal, y sigue por la Av. Ciudad de Villavicencio. Después, gira por la Av. 1° de Mayo y avanza hasta la altura de la avenida NQS, para girar al norte, cruzar sobre el canal Fucha y girar al Este por la Calle 8 Sur. Finalmente, enlaza con la Calle 1 hasta la Av. Caracas, donde gira hacia el Norte hasta el antiguo monumento Los Héroes.

Ilustración 1: Trazado de la PLMB



La cola de maniobras comienza tras la estación de metro Calle 72 y finaliza a la altura de la Calle 80. Es a partir de este punto que la extensión de la PLMB se inicia hasta llegar al sector de la calle 100 con Autopista Norte.

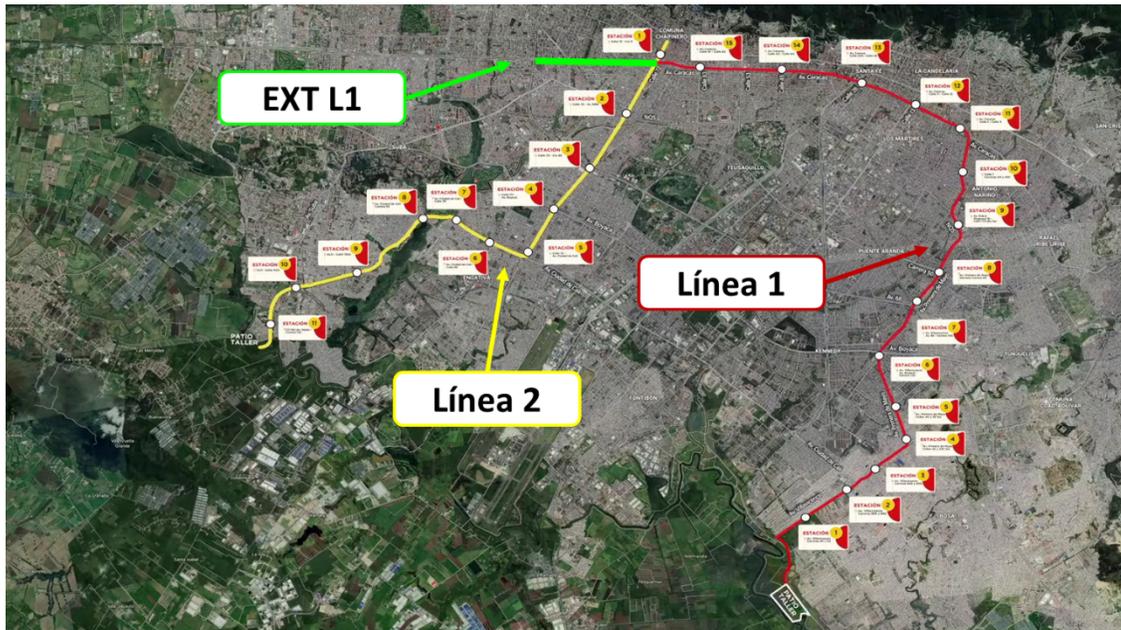
Cabe precisar que, como indicado en la sección 1.2, la tipología de la infraestructura de la extensión debe ser similar a aquella desarrollada para la PLMB-Tramo 1 hasta la calle 72, es decir, una tipología 100% en viaducto con los mismos sistemas ferroviarios, de modo que se logre una línea de metro que opere integralmente, incluido el nuevo tramo de la extensión. Además, se debe privilegiar, en la medida de lo posible, las interconexiones con los

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

otros sistemas de transporte de la ciudad existente o en curso de desarrollo como: el BRT, el Transmilenio y la L2MB que se encuentra en fase de diseño.

*Ilustración 2: Trazados PLMB y L2MB con punto de interconexión y trazado preliminar de la EXT PLMB*



## 2.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Como es mencionado en la sección 1.1, este documento tiene como objetivo estudiar las alternativas de emplazamiento geométrico del trazado de la extensión que permiten la conexión entre el tramo 1 de la PLMB y el sector de la calle 100 con Autopista Norte. Lo anterior tiene como finalidad seleccionar, junto a las distintas partes interesadas, una alternativa que se desarrollará a nivel de factibilidad considerando los criterios y parámetros de diseño establecidos para la PLMB.

Uno de los principales enfoques de este entregable consiste en evaluar la factibilidad técnica de contar con 2 o 3 estaciones a lo largo del tramo de extensión considerando entre otros: los requerimientos de demanda del proyecto, la longitud de las distancias interestación, los métodos constructivos requeridos, los eventuales impactos respecto al plan de operación y, por lo tanto, los aspectos de CAPEX y OPEX.

Además, uno de los principales desafíos del proyecto consiste en encontrar una solución al cruce del “nodo calle 92” puesto que, en esta zona, existen varias infraestructuras multinivel de tránsito con alturas similares al viaducto de la PLMB (Ver ilustración 3). También, en el área del “nodo calle 92” se encuentran sistemas pluviales (canales), sistemas de conservación ambiental y corredor férreo del Regiotram por lo que los espacios son bastante limitados para el proceso constructivo.

*Ilustración 3: Vista en planta del “nodo calle 92”*



Por lo tanto, el presente estudio evaluará cómo cruzar el “nodo calle 92” a través de tres alternativas de cruzamiento: por el occidente, por el oriente o por su eje central. En paralelo, se evaluará la factibilidad técnica de contar con una estación en este nodo para contar con conexión con los demás sistemas de transporte público (Transmilenio, Regiotram).

La metodología prevé la propuesta por el consultor de 6 alternativas de trazado presentadas y validadas previamente con las principales partes interesadas (EMB, FDN e interventoría) para luego ser analizada a través de un análisis multicriterio con el objetivo de evaluar la variante más pertinente para el proyecto.

## 2.3. CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA PLMB

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

Para determinar las alternativas de emplazamiento geométrico férreo par el proyecto de extensión, se deben considerar los criterios de diseño geométrico definidos en el documento *Apéndice Técnico 2 – Normatividad Aplicable (Concesión No. 163 de la PLMB)*, cuales se presentan a continuación:

### 2.3.1. Normas

El diseño geométrico del trazado de la línea se lleva a cabo conforme a la normativa (normas, códigos y/o reglamentos) europea e internacional siguiente:

Tabla 1: Listado de normas

Tipo	Referencia	Título
Código	UIC 703 R	Características de trazado de vías recorridas por trenes de pasajeros rápidos
Norma	EN 13803-1	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1 435 mm y mayores. Parte 1: Plena vía
Norma	EN 13803-2	Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1 435 mm y mayores. Parte 2: Aparatos de vía y situaciones comparables de proyecto del trazado con variaciones bruscas de curvatura
Manual	-	Manual de Normatividad Férrea del Ministerio de Transporte (2013) o vigente. Parte 2.2: Parámetros y tolerancias geométricas en vía

Estas normas se completan con ciertas adaptaciones específicas para un trazado de Metro (inserción urbana, distancia reducida entre estaciones, etc.), lo que permite utilizar valores límites de ciertos parámetros, como la variación de la rampa del peralte, con el fin de optimizar la operación de la extensión, en particular en las curvas de radio reducido que limiten la velocidad.

### 2.3.2. Velocidades

Tal como establecido durante el diseño de la PLMB, la velocidad de diseño de la presente extensión es de 90 km/h.

### 2.3.3. Trazado en planta

Los parámetros de diseño del trazado en planta se presentan en la siguiente tabla:

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

Tabla 2: Parámetros de diseño del trazado en planta

Parámetro	Valores recomendados	Valores excepcionales
Ancho de vía	1435 mm	
Radio mínimo en planta	400 m (*)	400 m (*)
Radio mínimo en estación	Recta	
Longitud mínima elemento (recta, curva, clotoide)	20 m	
Longitud mínima de andén en estación	150 m	
Longitud mínima de alineación restante en estación	180 m	180 m
Intereje	3.48 m en recta y radios R > 900m 3.71m en radios R ≤ 900 m (**)	
Velocidad máxima de concepción	90 Km/h	
Peralte máximo	140 mm	
Insuficiencia máxima de peralte	100 mm	
Aceleración no compensada	0.65 m/s <sup>2</sup>	
Variación máxima del peralte con el tiempo	50 mm/s	
Variación máxima de la insuficiencia con el tiempo	60 mm/s	
Variación máxima de aceleración no compensada con el tiempo	0.40 m/s <sup>3</sup>	
Variación máxima de peralte (alabeo)	180/V ≤ 2 mm/m	180/V ≤ 2 mm/m

(\*) Aplicando estos valores, se obtiene un valor recomendado de radio mínimo de 400m para una velocidad de 90 km/h, según el cálculo siguiente:

$$R_m = [(11.8/(D+I))V]^2$$

Siendo D=140mm, I=100mm y V=90 km/h Lo que resulta 398m, redondeado a 400m.

Excepcionalmente, el valor del radio mínimo puede ser reducido hasta 160m en la línea principal, con las consiguientes restricciones de velocidad que resultan necesarias. Sin embargo, el radio mínimo utilizado en el trazado actual durante esta fase de estudio es de 200 m.

(\*\*) La transición del intereje se da en las clotoides.

El sobre ancho en las curvas se indica en el documento de la vía ET08: ETPLMB-ET08-L01- ITE-F-0001- Especificación técnica de la superestructura de vía, párrafo: Ancho de Vía.

Otros parámetros considerados se presentan en la tabla siguiente:

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Tabla 3: Otros Parámetros relacionados al trazado en planta*

Parámetro	Valores recomendados	Valores excepcionales
Distancia entre aparatos de vía	15 m	10 m
Distancia entre andén y aparatos de vía	15 m	10 m
Tipo de aparatos de vía a utilizar	Desvío 1 :9	
Distancia entre trenes en estacionados	5 m	
Distancia entre tren y tope de vía	5 m	
Distancia entre tren y aparatos de vía	15 m	

#### **2.3.4. Gálibos**

Todos los parámetros técnicos relacionados a los gálibos están descritos en la sección 3.3.1 del documento ETPLMB-ET05-L00-ITE F-0001-R0.

### 2.3.5. Perfil longitudinal

Los parámetros relativos al perfil longitudinal se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 4: Parámetros del perfil longitudinal

Parámetro	Valores recomendados	Valores excepcionales
Pendiente longitudinal máxima en línea	2%	4%
Pendiente longitudinal mínima en línea	0.20%	
Pendiente longitudinal máxima en estación	0.25%	
Acuerdo mínimo	3125 m (*)	1000 m
Longitud mínima elemento (rasante uniforme, acuerdo)	20 m	
Aceleración vertical máxima	0.20 m/s <sup>2</sup>	
Gradiente equivalente	G + 800/R	
Pendiente longitudinal máxima en posición de parqueo	0%	0.50%
Pendiente longitudinal máxima en Patio Taller	0.10%	0.50%

Nota: Pendiente longitudinal máxima utilizada es 2.5%.  
Pendiente en estación utilizada es 0%.

(\*) El radio del acuerdo vertical recomendado se calcula a través de la fórmula siguiente:  $R_{vmin} = V^2_{max} / (12.96 \cdot a_{v rec})$ .

Por lo tanto, para la velocidad de 90 km/h y aceleración vertical de 0.20 m/s<sup>2</sup>, R = 3125m.

Se recomienda no superponer clotoides (en planta) y curvas verticales (del perfil longitudinal).

### 3. ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El trazado de la extensión encuentra como grandes complejidades:

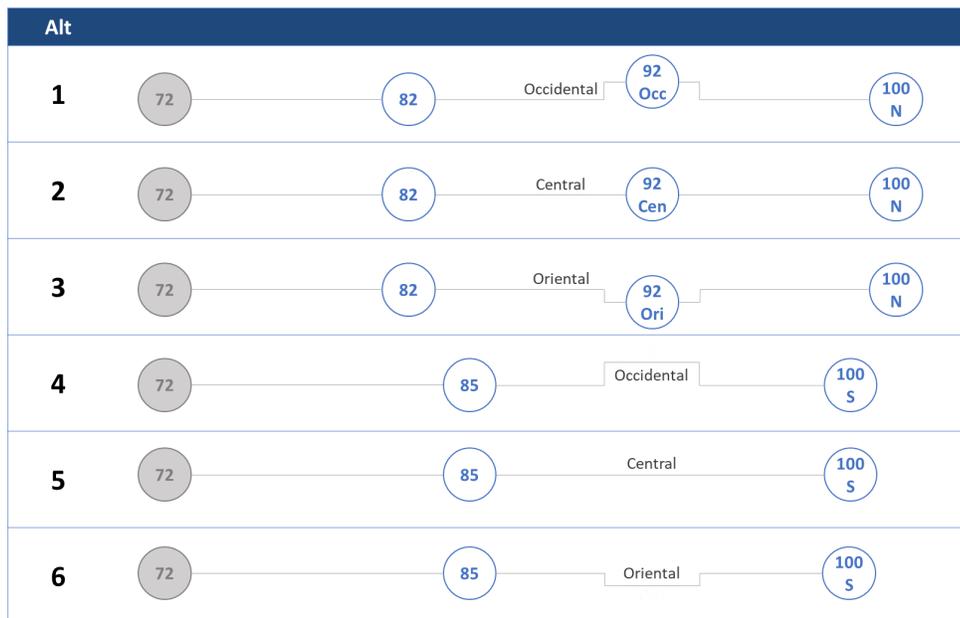
- i) El cruce del “nodo calle 92” como indicado en la sección 2.2,
- ii) La inserción de la infraestructura de la extensión en un corredor de alta densidad de utilización del espacio con sendas infraestructuras de movilidad de la Ciudad: la Autopista Norte y el corredor B-Norte del Transmilenio que conecta con el Portal del Norte,
- iii) La vocación por brindar una adecuada cobertura territorial con una distribución equilibrada de las estaciones.

En razón de lo anterior, surge la necesidad de estudiar varias alternativas de trazado, las cuales tienen como objetivo barrer la totalidad del espacio del tramo de extensión con la finalidad de hacer combinar cada elemento de las dos dimensiones de decisiones proyectuales siguientes:

- Dimensión “cantidad de estaciones” (2 opciones): se han considerado dos opciones, emplazar 2 estaciones adicionales a las 16 de PLMB o emplazar 3 estaciones.
- Dimensión “cruce del nodo calle 92”: (3 opciones): se ha identificado la posibilidad de atravesar el nodo por el centro, es decir, siguiendo el eje longitudinal de la Autonorte, hacerlo por el occidente o hacerlo por el oriente.

El siguiente cuadro describe esquemáticamente y nomina las 6 alternativas que resultan de combinar las 2x3 opciones explicadas previamente:

Ilustración 4: Esquemas de alternativas



#### 3.2. EMPLAZAMIENTO DE ESTACIONES

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

El emplazamiento de estaciones debe contemplar distancias interestación similares a aquellas del resto de la línea (PLMB) y procurar la vocación comercial y operacional de estas infraestructuras. En este sentido, la PLMB con 19,5 km y 16 estaciones arroja una distancia media de 1,3 km. Considerando este promedio, se distribuyen 2 estaciones en la primera opción de la ilustración N°5 con la primera estación ubicada a la altura de la calle 85, posicionamiento que representa una ubicación intermedia entre las calles 72 y 100 con la finalidad de atender directamente los barrios del Antiguo Country y del Virrey, a Oriente, y el del Polo Club a Occidente. Con esta configuración se obtiene también una distancia interestación de la extensión de 1,3 km.

La distancia interestación es un principio válido para el emplazamiento de estaciones, pero adolece de dar cuenta de las singularidades de la ciudad y de la red de transporte. En el primer caso, se trata de los centros específicos productores / atractores de viajes, los cuales concentran en un espacio geográfico reducido un gran volumen de viajes. Es ejemplo de esto: grandes universidades, grandes hospitales, centros comerciales, entre otros. En el segundo caso, se hace referencia a la red de transporte masivo con la cual suele resultar conveniente generar vínculos tal que se mejore la topología de la red y con ello ampliar significativamente su calidad y cobertura territorial<sup>2</sup>. Estos nodos de combinación pueden resultar atractivos y canalizar a través de ellos grandes cantidades de viajes.

Ilustración 5: Cadencia de estaciones



En el territorio de extensión de la PLMB existen dos casos relevantes en este sentido. Es así para el “nodo calle 92”, como consecuencia del troncal TM-NQS y del Regiotram del Norte que se encuentran emplazados sobre el corredor de dicha avenida y que brindan una conectividad interesante para PLMB. Otro tanto ocurre con calle 100 que comprende la vinculación con el troncal TM de carrera 68. En tal sentido se han dispuesto estaciones en dichos corredores para asegurar una vinculación y mejorar la conectividad de la red. Con estas dos estaciones dispuestas, surge la necesidad de una tercera estación en la intersección con calle 82 y de donde se obtiene una distancia interestación de la extensión de 1,0 km (ver opción 2 de la ilustración N°5). La estación de la calle 82 tiene por vocación equilibrar la cobertura territorial salvando un recorrido de 2 km entre calle 72 y NQS con una estación intermedia para atender los barrios del Antiguo Country y del Polo Club a la vez que asegura una vinculación con el troncal TM-Caracas en estación los Héroes.

<sup>2</sup> Plan Estratégico y Técnico para la expansión de la red de Subterráneos, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Desempeño de algunas redes para el indicador Beta: Medida topológica de la estructura de una red igual a  $N_{arcos} / N_{nodos}$  (pp. 123 a 125), [https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/libro\\_peters\\_2015.pdf](https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/libro_peters_2015.pdf)

### 3.3. CRUCE DE LA INTERSECCIÓN DE LA AUTOPISTA NORTE, AV. NQS Y CALLE 92

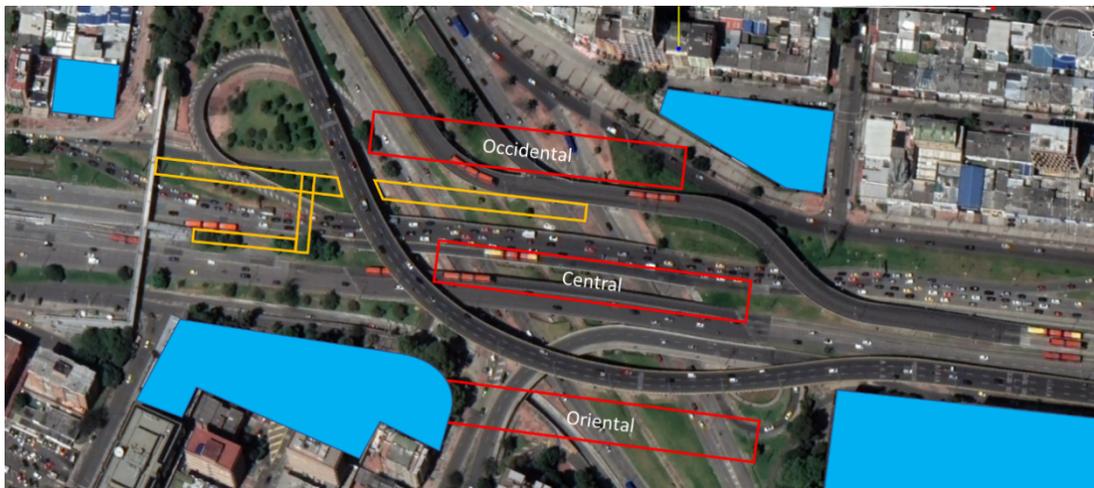
Esta intersección corresponde al “nodo calle 92” cual comprende un distribuidor vial con giros a izquierda y derecha de 4 niveles: 1 subterráneo, 1 superficial y 2 elevados. Por lo tanto, es una zona sofisticada cuya compatibilización con un trazado de metro elevado, suele ser compleja. Complementariamente, la necesidad de emplazar una estación suma un desafío adicional puesto que requiere implementar al trazado de un tramo de unos 200 m en recta y horizontal.

En la ilustración N°6 a continuación se describen conceptualmente 3 posiciones posibles de estación, las cuales serán detalladas más adelante en la sección de Alternativas.

Los recuadros de color azul adelantan la posible necesidad de adquirir predios para permitir la disposición del viaducto. En una primera aproximación, se puede observar que la variante central no tiene afectaciones a los predios privados, que la variante occidental tendría algunos y que la variante oriental sería la de mayor impacto. Estas insinuaciones han sido ratificadas por los estudios de trazado detallados que son presentados más adelante y cuyas métricas se han empleado para conjugar con los demás elementos de ponderación en una matriz multicriterio para recomendar la más conveniente.

Por último, se presenta un sistema de galerías (color naranja) con el propósito de visualizar los accesos (pasarelas) de infraestructura que permitan vincular las estaciones occidental y central con la estación Virrey del troncal TM de avenida Caracas. Por su parte, la variante oriental cuenta con más libertad para emplazar núcleos verticales por cuanto requiere predios a ambos extremos de la estación por donde emplazarlos fácilmente.

*Ilustración 6: 3 posibles emplazamientos de estaciones en el “nodo calle 92”.*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

### 3.4. ALTERNATIVAS DE TRAZADO

A continuación, se resume el estudio de diseño geométrico realizado para cada una de las alternativas presentadas en la sección 3.1. El propósito de esta actividad ha sido asegurar la viabilidad de las alternativas con la finalidad de procurar los parámetros necesarios para la evaluación multicriterio con una precisión adecuada.

Como atributo general y válido para todas las alternativas se señala que, a priori, todas las alternativas ofrecen posibilidades de prolongación de la PLMB más allá de la calle 100 y con miras a su extensión hasta la calle 127 o inclusive hasta la calle 200. En tal sentido, una vez identificada la alternativa más conveniente, se detallarán en la fase siguiente los detalles de cómo se daría esa extensión y las verificaciones realizadas.

#### 3.4.1. Alternativa 1

A continuación, se presenta la disposición general de la Alternativa 1 cual pertenece a la familia de alternativas con 3 estaciones a lo largo del tramo de extensión de la PLMB.

Dicha variante tiene su origen desde el final de la PLMB-Tramo 1 siguiendo el corredor central de la Autopista Norte y cuenta con las 3 siguientes ubicaciones de estaciones:

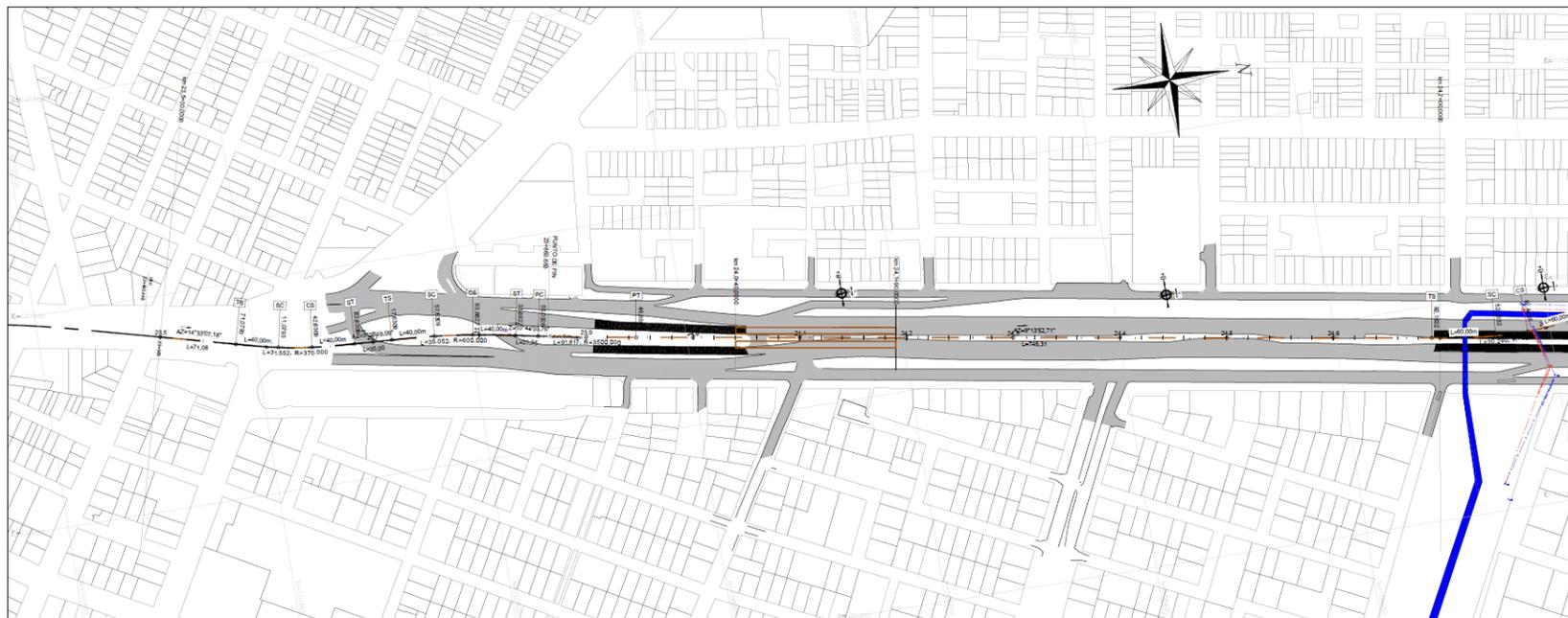
- Estación en calle 82 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estaciones Héroe y Calle 85).
- Estación en el “nodo calle 92” ¶ Cabe precisar que para esta alternativa, el cruce de dicho nodo se realiza por el occidente. Adicionalmente, ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Virrey) y futura estación Calle 92 del Regiotram.
- Estación al norte de la calle 100 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Calle 106).

A continuación se presenta una vista en planta de la Alternativa 1, cual se presenta con mayor claridad (en particular para la visualización de cada estación) en el plano EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0001 anexo al presente entregable.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

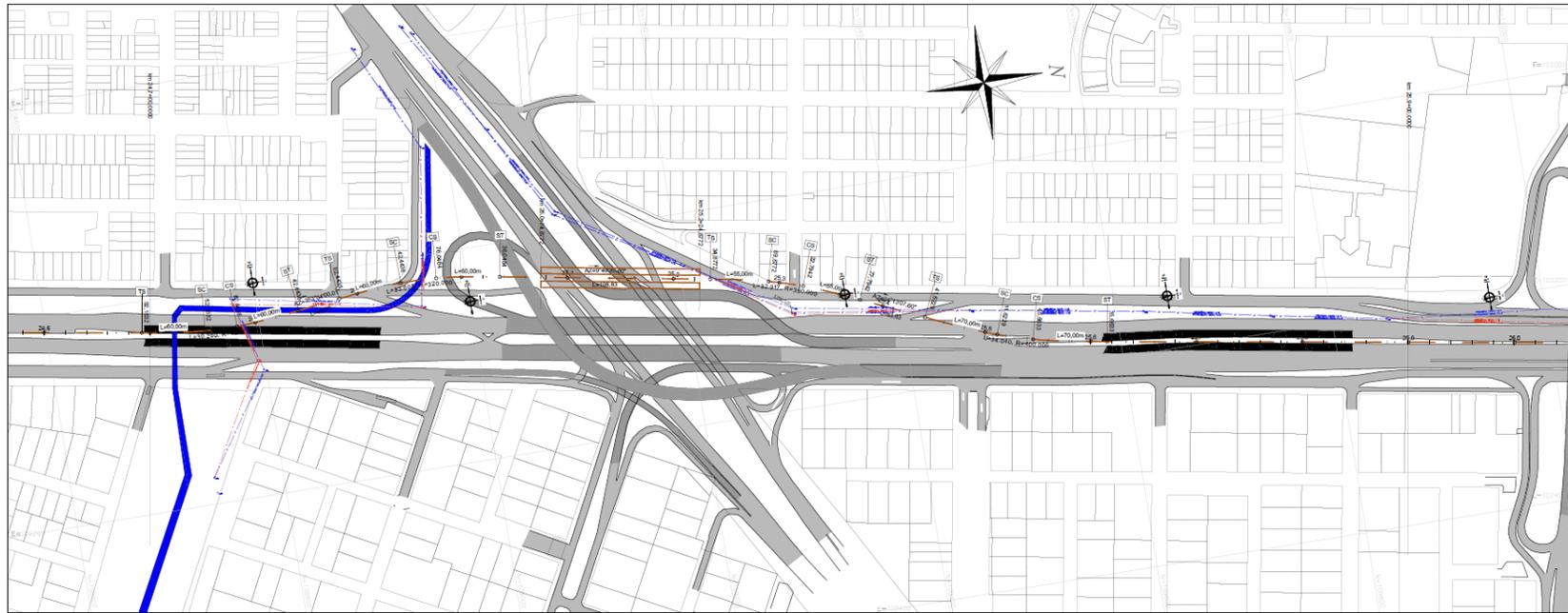
*Ilustración 7: Vista en planta Alternativa 1, Tramo calle 72-calle 90*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

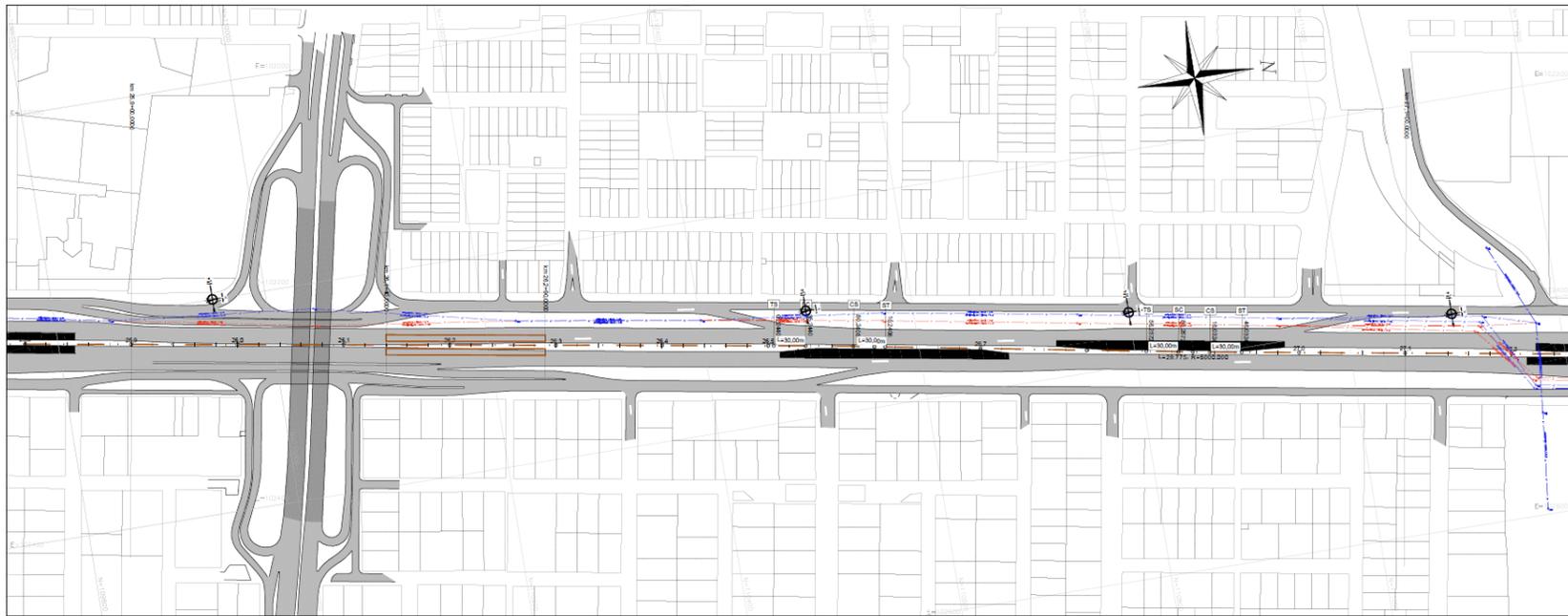
*Ilustración 8: Vista en planta Alternativa 1, Tramo "nodo calle 92"-calle 100 Sur*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Ilustración 9: Vista en planta Alternativa 1, Tramo calle 100 Norte*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

### 3.4.2. Alternativa 2

A continuación, se presenta la disposición general de la Alternativa 2 cual pertenece a la familia de alternativas con 3 estaciones a lo largo del tramo de extensión de la PLMB.

Dicha variante tiene su origen desde el final de la PLMB-Tramo 1 siguiendo el corredor central de la Autopista Norte y cuenta con las 3 siguientes ubicaciones de estaciones:

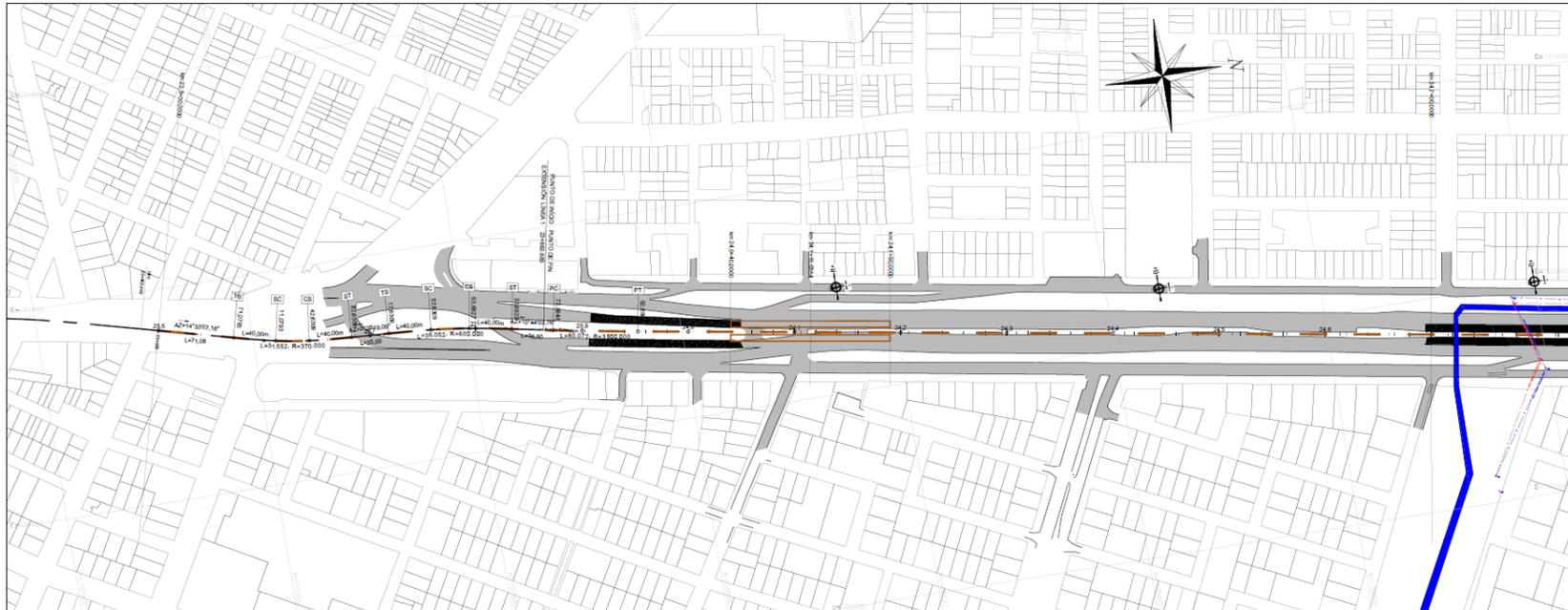
- Estación en calle 82 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estaciones Héroes y Calle 85).
- Estación en el "nodo calle 92" ¶ Cabe precisar que para esta alternativa, el cruce de dicho nodo se realiza por el eje central. Adicionalmente, ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Virrey) y futura estación Calle 92 del Regiotram.
- Estación al norte de la calle 100 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Calle 106).

A continuación se presenta una vista en planta de la Alternativa 2, cual se presenta con mayor claridad (en particular para la visualización de cada estación) en el plano EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0002 anexo al presente entregable.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

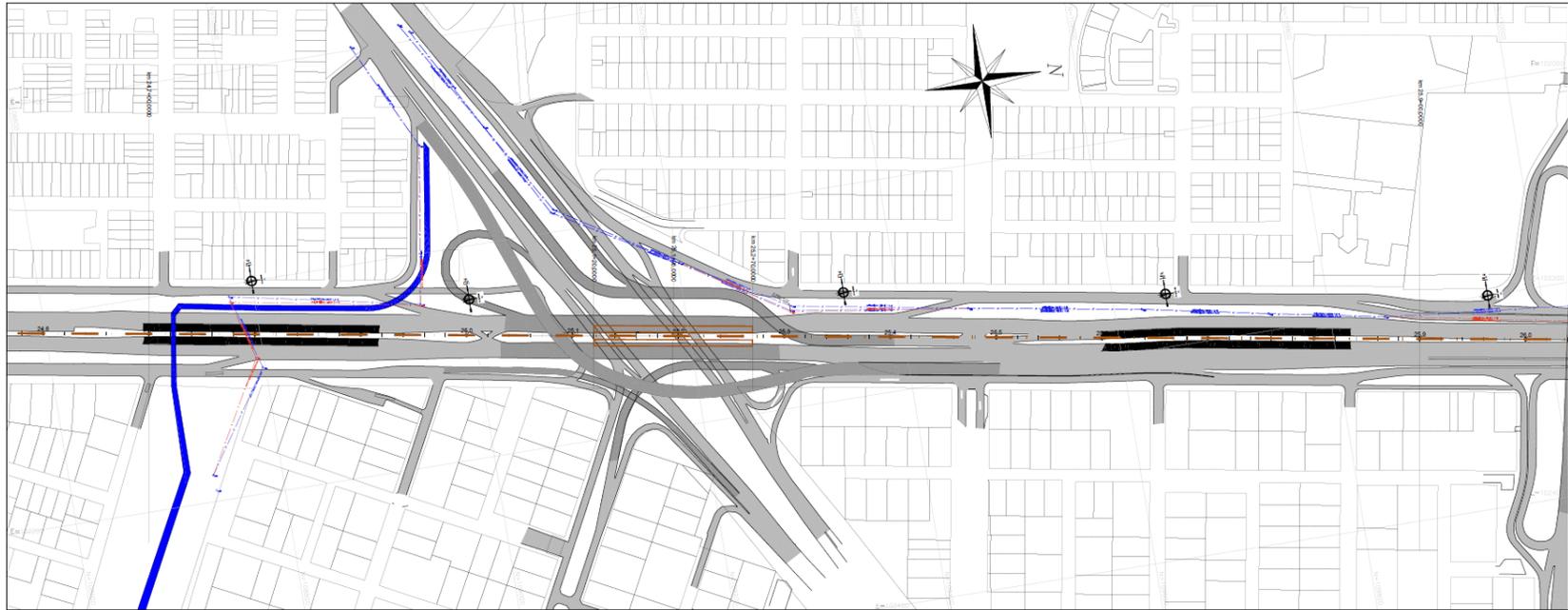
Ilustración 10: Vista en planta Alternativa 2, Tramo calle 72-calle 90



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

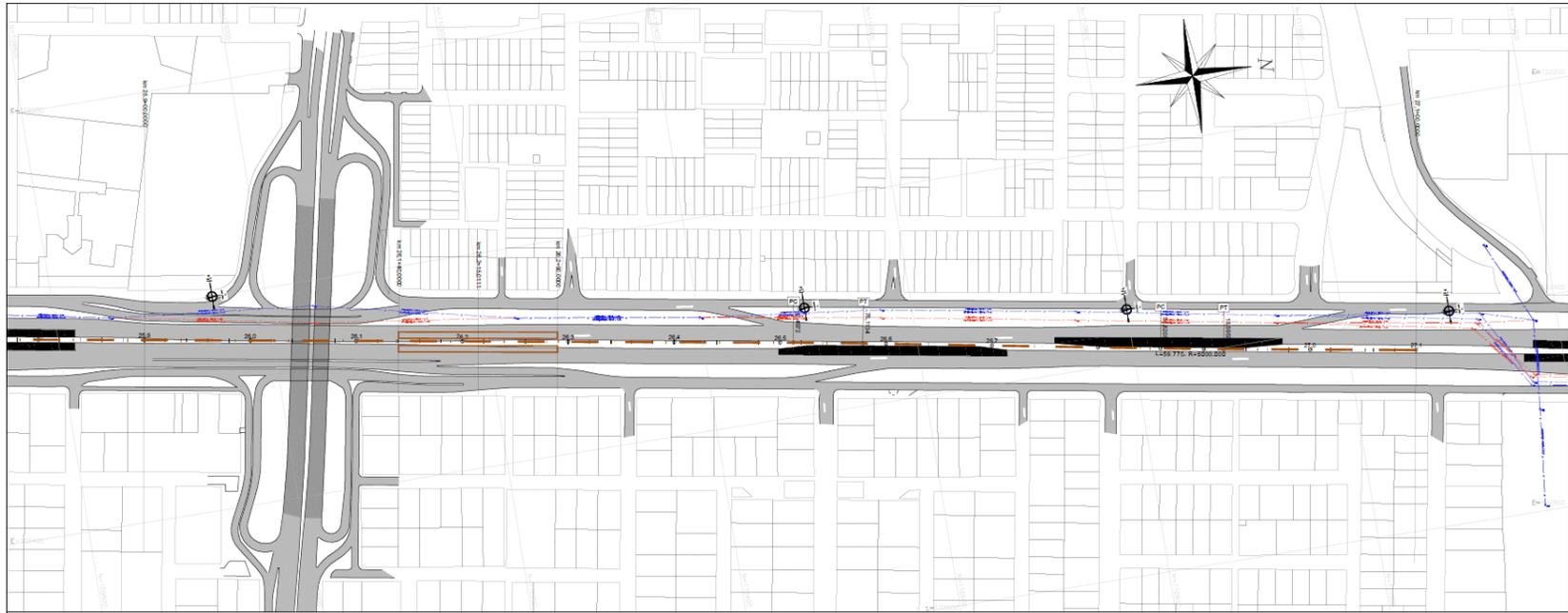
*Ilustración 11: Vista en planta Alternativa 2, Tramo "nodo calle 92"-calle 100 Sur*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Ilustración 12: Vista en planta Alternativa 2, Tramo calle 100 Norte*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

### 3.4.3. Alternativa 3

A continuación, se presenta la disposición general de la Alternativa 3 cual pertenece a la familia de alternativas con 3 estaciones a lo largo del tramo de extensión de la PLMB.

Dicha variante tiene su origen desde el final de la PLMB-Tramo 1 siguiendo el corredor central de la Autopista Norte y cuenta con las 3 siguientes ubicaciones de estaciones:

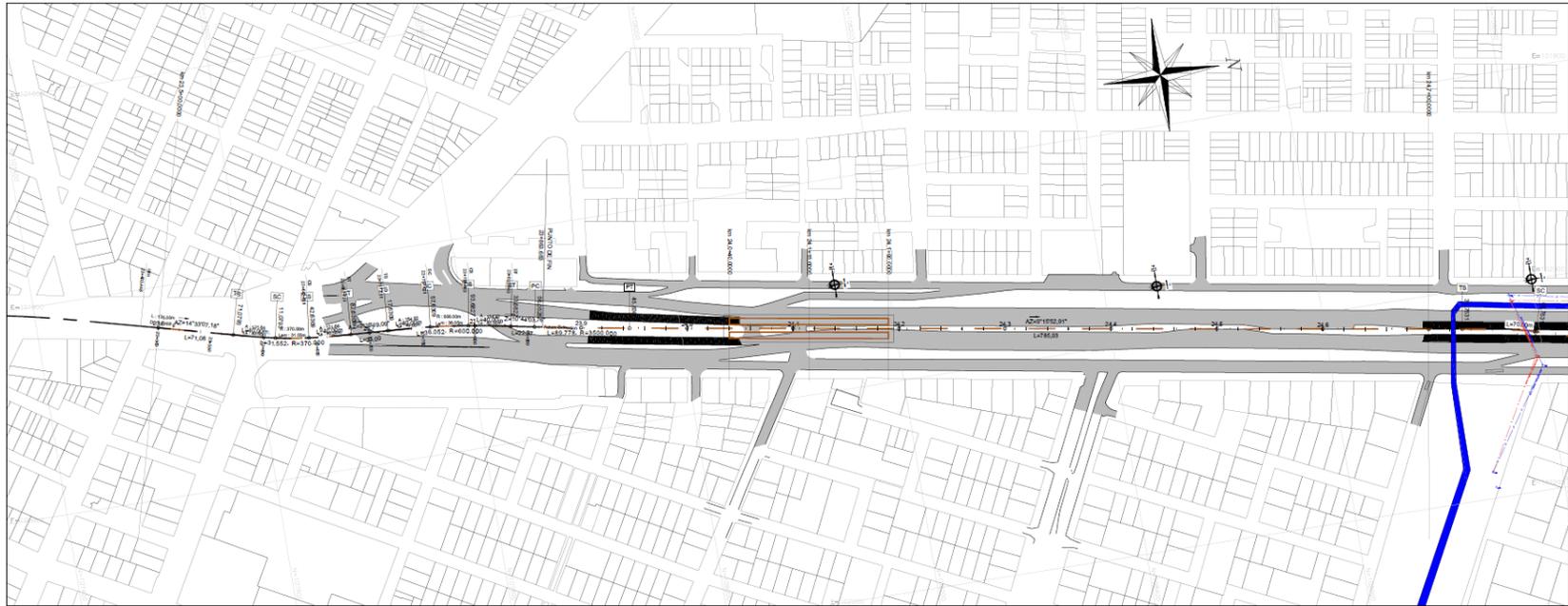
- Estación en calle 82 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estaciones Héroes y Calle 85).
- Estación en el “nodo calle 92” ¶ Cabe precisar que para esta alternativa, el cruce de dicho nodo se realiza por el oriente. Adicionalmente, ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Virrey) y futura estación Calle 92 del Regiotram.
- Estación al norte de la calle 100 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Calle 106).

A continuación se presenta una vista en planta de la Alternativa 3, cual se presenta con mayor claridad (en particular para la visualización de cada estación) en el plano EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0003 anexado al presente entregable.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

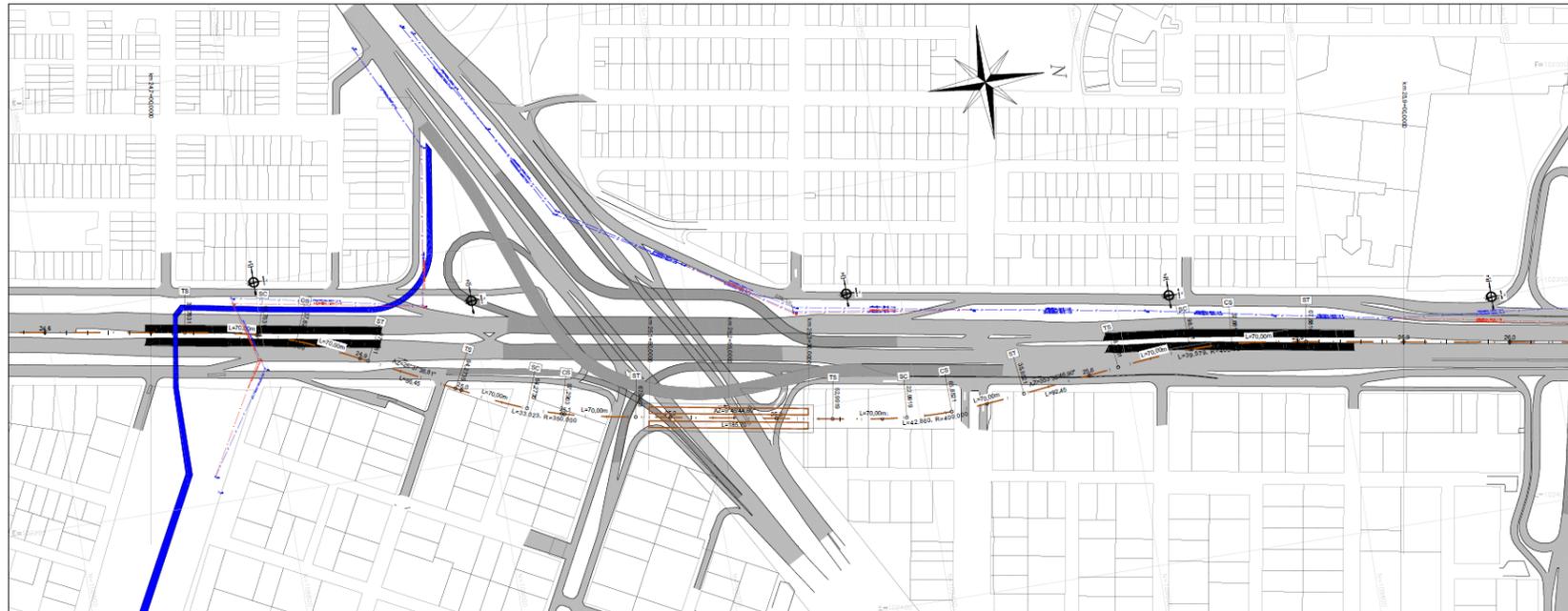
*Ilustración 13: Vista en planta Alternativa 3, Tramo calle 72-calle 90*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

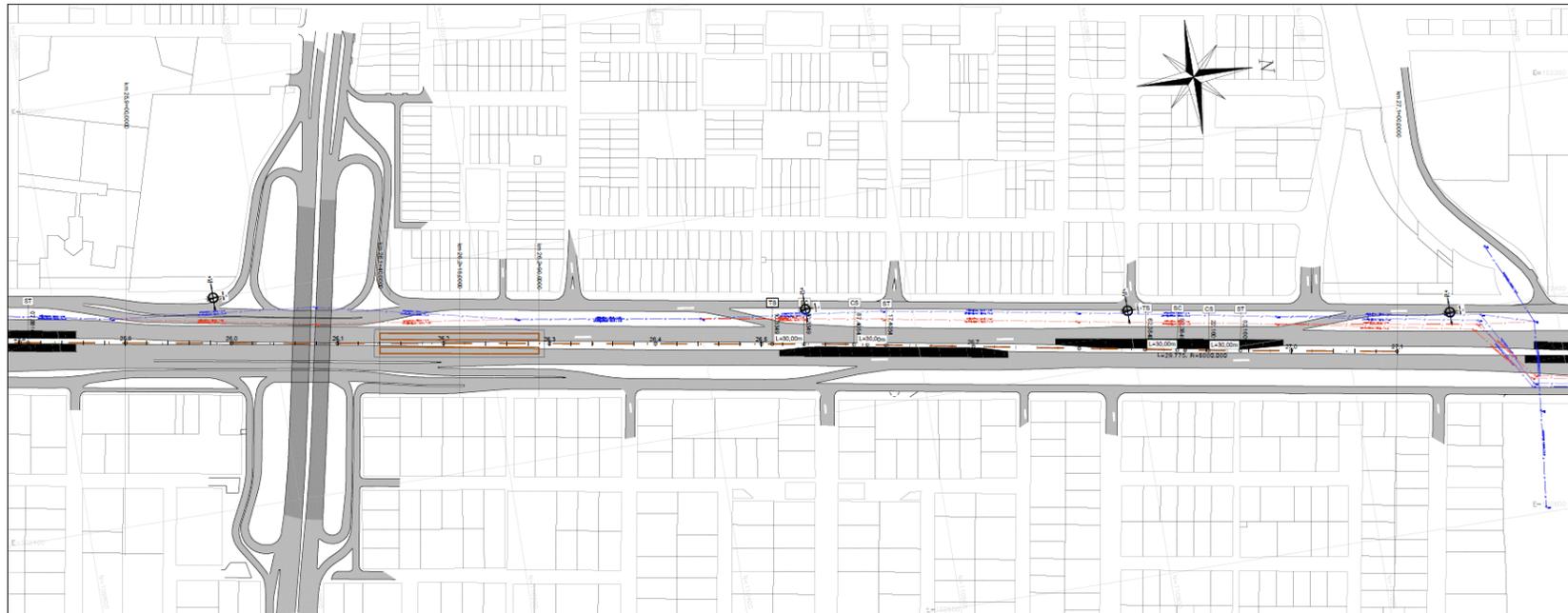
Ilustración 14: Vista en planta Alternativa 3, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Ilustración 15: Vista en planta Alternativa 3, Tramo calle 100 Norte*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

#### 3.4.4. Alternativas 4

A continuación, se presenta la disposición general de las Alternativa 4 cual pertenece a la familia de alternativas con 2 estaciones a lo largo del tramo de extensión de la PLMB.

Dicha variante tiene su origen desde el final de la PLMB-Tramo 1 siguiendo el corredor central de la Autopista Norte y cuentan con las 2 siguientes ubicaciones de estaciones:

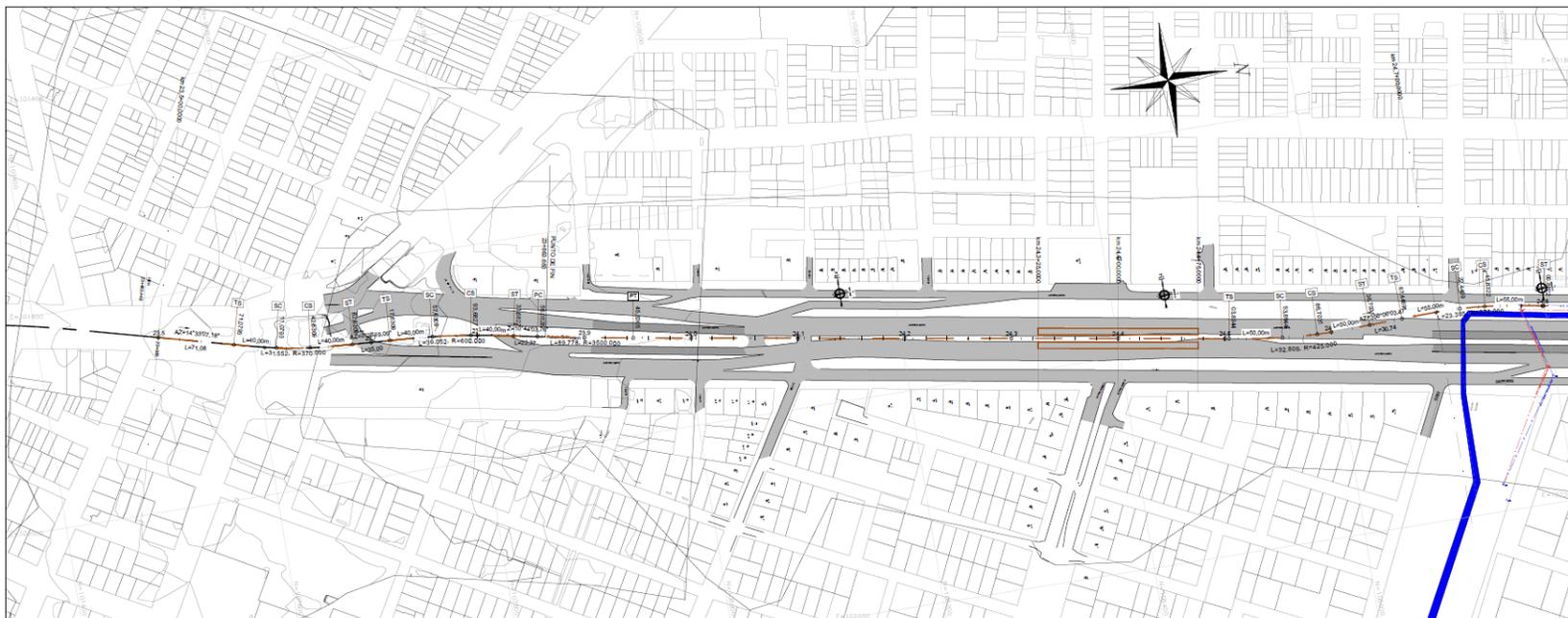
- Estación en calle 85 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estaciones Héroes y Calle 85).
- Cruce del “nodo calle 92” por el occidente, sin estación.
- Estación al sur de la calle 100 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Calle 100).

A continuación se presenta una vista en planta de las Alternativa 4, cual se presenta con mayor claridad (en particular para la visualización de cada estación) en el plano EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0004 anexado al presente entregable.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

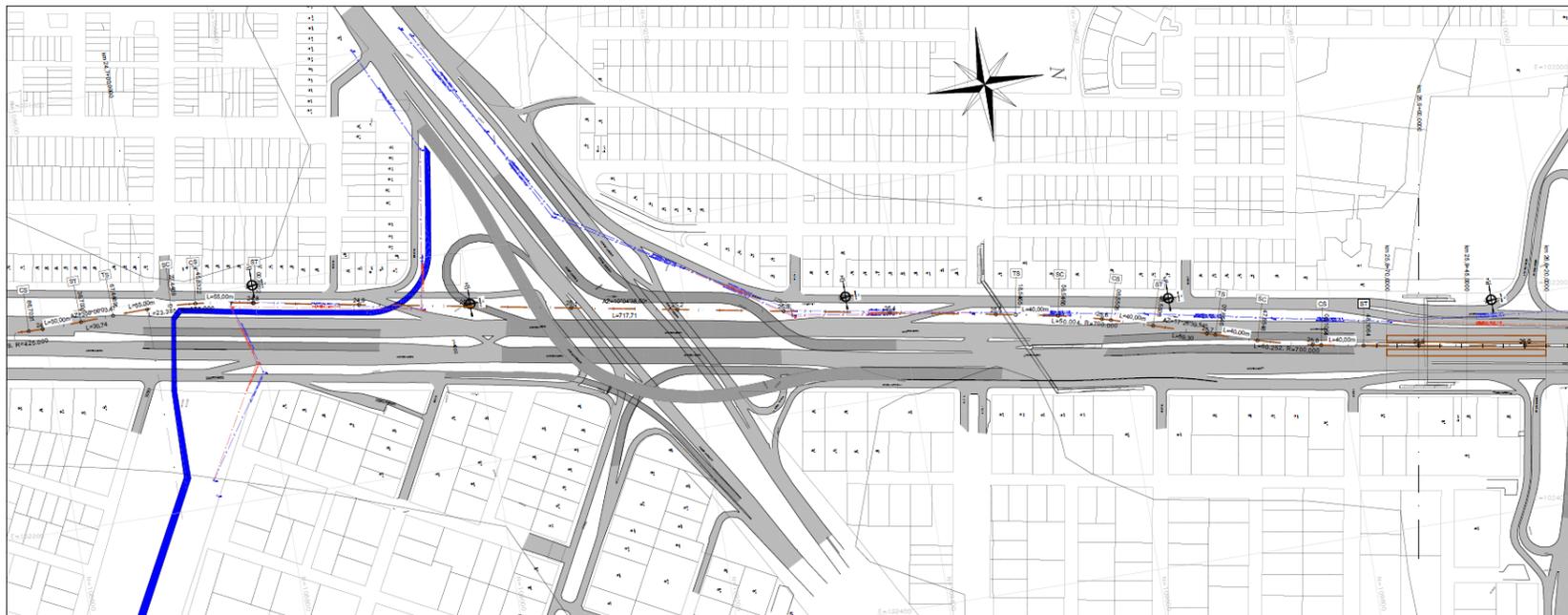
Ilustración 16: Vista en planta Alternativa 4, Tramo calle 72-calle 90



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

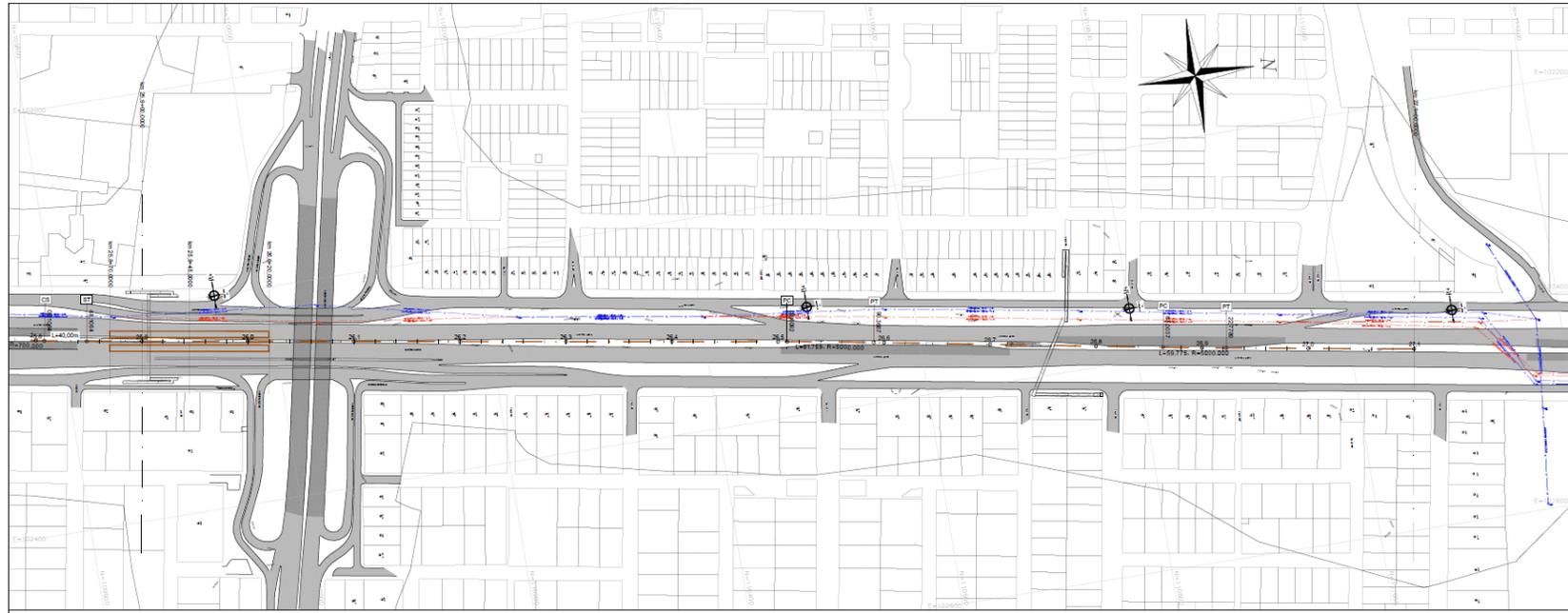
*Ilustración 17: Vista en planta Alternativa 4, Tramo "nodo calle 92"-calle 100 Sur*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Ilustración 18: Vista en planta Alternativa 4, Tramo calle 100 Norte*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

### 3.4.5. Alternativas 5

A continuación, se presenta la disposición general de las Alternativa 5 cual pertenece a la familia de alternativas con 2 estaciones a lo largo del tramo de extensión de la PLMB.

Dicha variante tiene su origen desde el final de la PLMB-Tramo 1 siguiendo el corredor central de la Autopista Norte y cuentan con las 2 siguientes ubicaciones de estaciones:

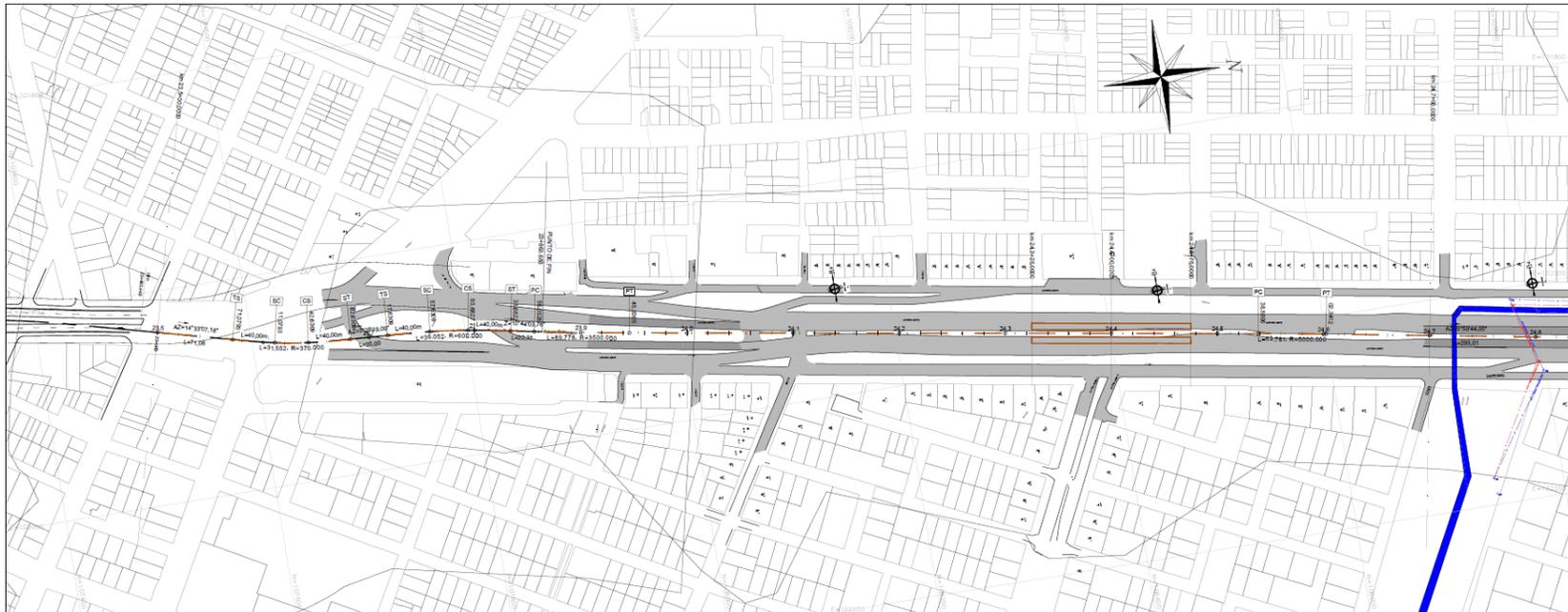
- Estación en calle 85 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estaciones Héroes y Calle 85).
- Cruce del “nodo calle 92” por el eje central, sin estación.
- Estación al sur de la calle 100 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Calle 100).

A continuación se presenta una vista en planta de las Alternativa 5, cual se presenta con mayor claridad (en particular para la visualización de cada estación) en el plano EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0005 anexo al presente entregable.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

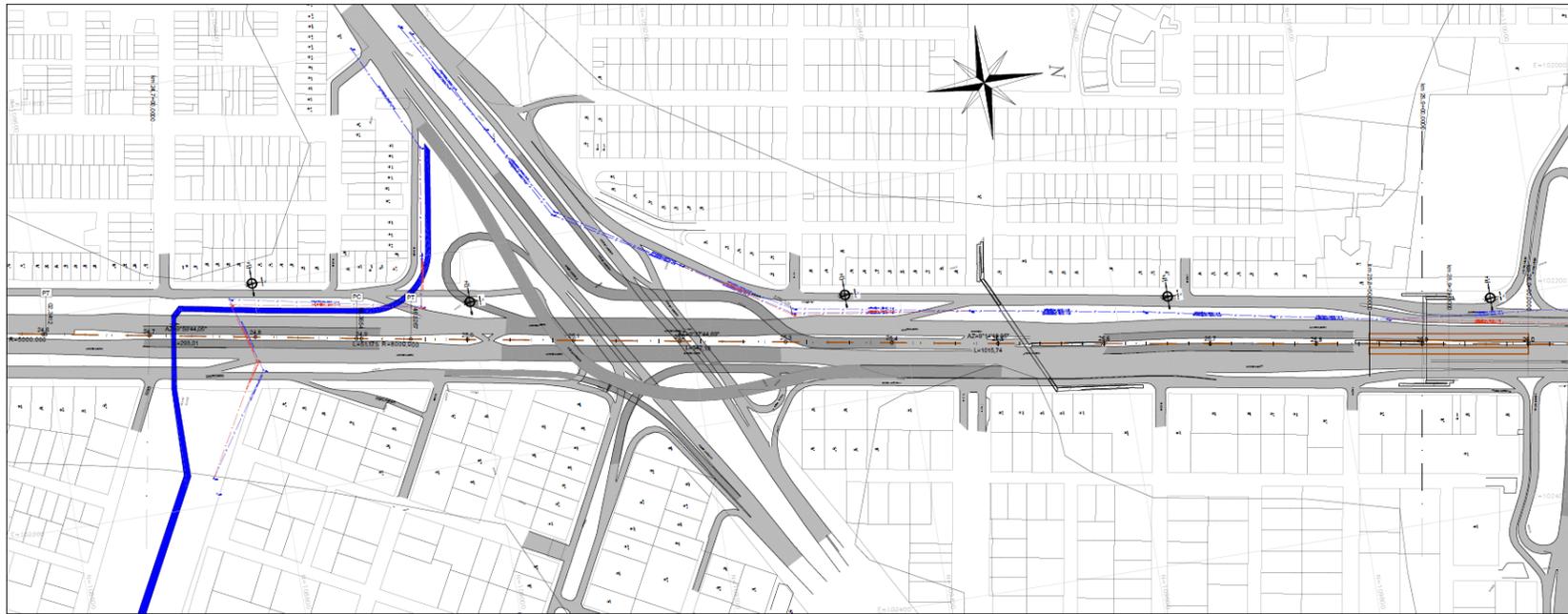
*Ilustración 19: Vista en planta Alternativa 5, Tramo calle 72-calle 90*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

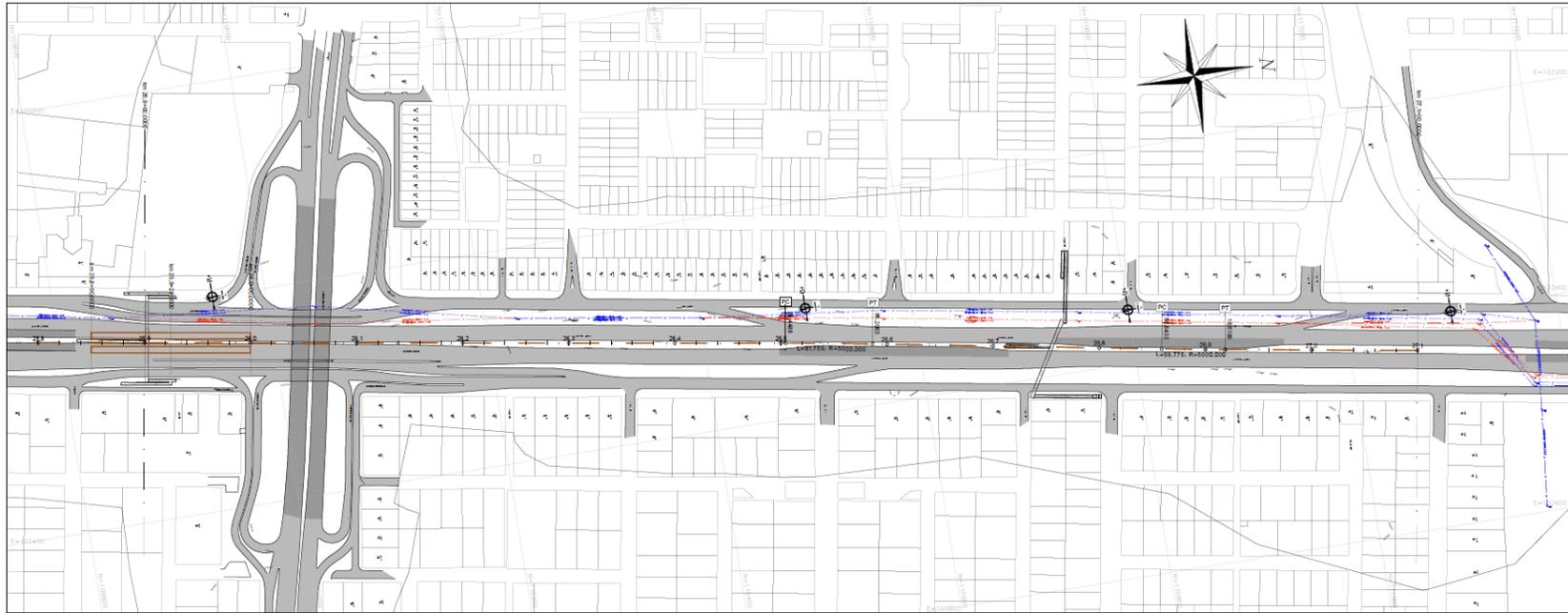
*Ilustración 20: Vista en planta Alternativa 5, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Ilustración 21: Vista en planta Alternativa 5, Tramo calle 100 Norte*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

### 3.4.6. Alternativas 6

A continuación, se presenta la disposición general de las Alternativa 6 cual pertenece a la familia de alternativas con 2 estaciones a lo largo del tramo de extensión de la PLMB.

Dicha variante tiene su origen desde el final de la PLMB-Tramo 1 siguiendo el corredor central de la Autopista Norte y cuentan con las 2 siguientes ubicaciones de estaciones:

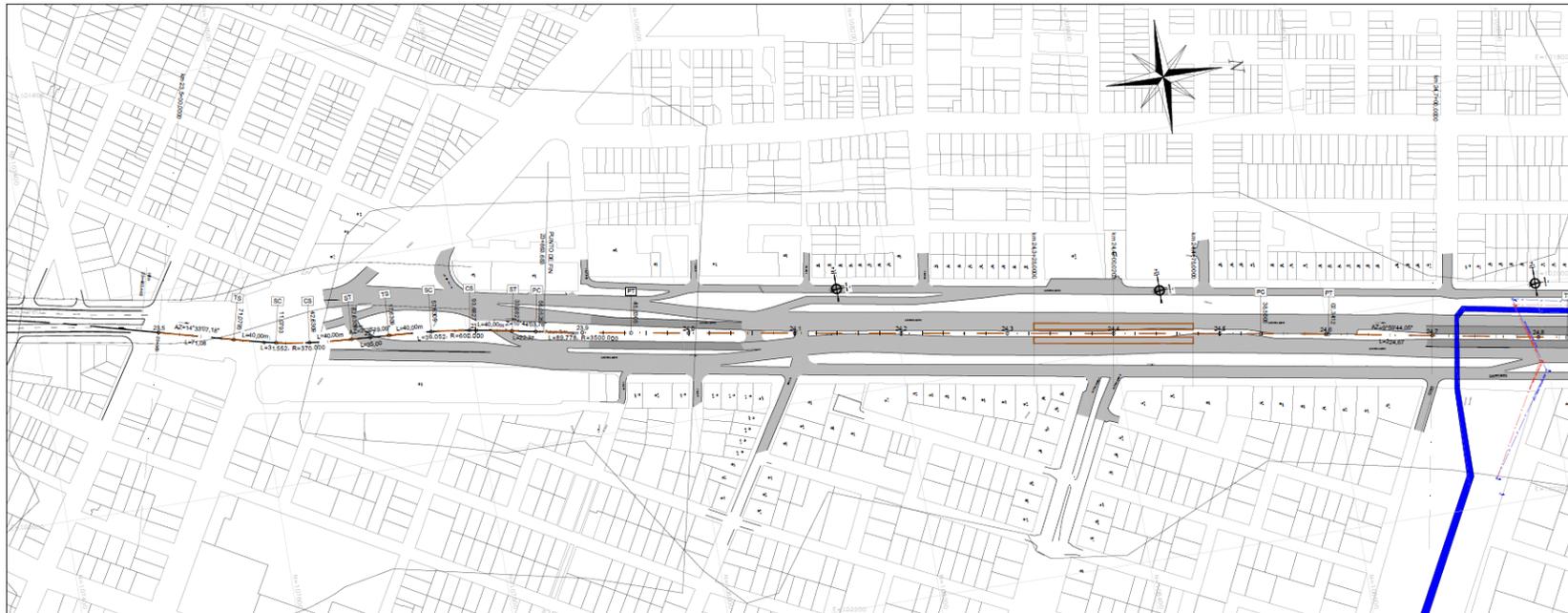
- Estación en calle 85 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estaciones Héroes y Calle 85).
- Cruce del “nodo calle 92” por el oriente, sin estación.
- Estación al sur de la calle 100 ¶ Ofrece interconexión con Transmilenio B (estación Calle 100).

A continuación, se presenta una vista en planta de las Alternativa 6, cual se presenta con mayor claridad (en particular para la visualización de cada estación) en el plano EPLMB-EML-PL-ALT-DGF-00-0006 anexado al presente entregable.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

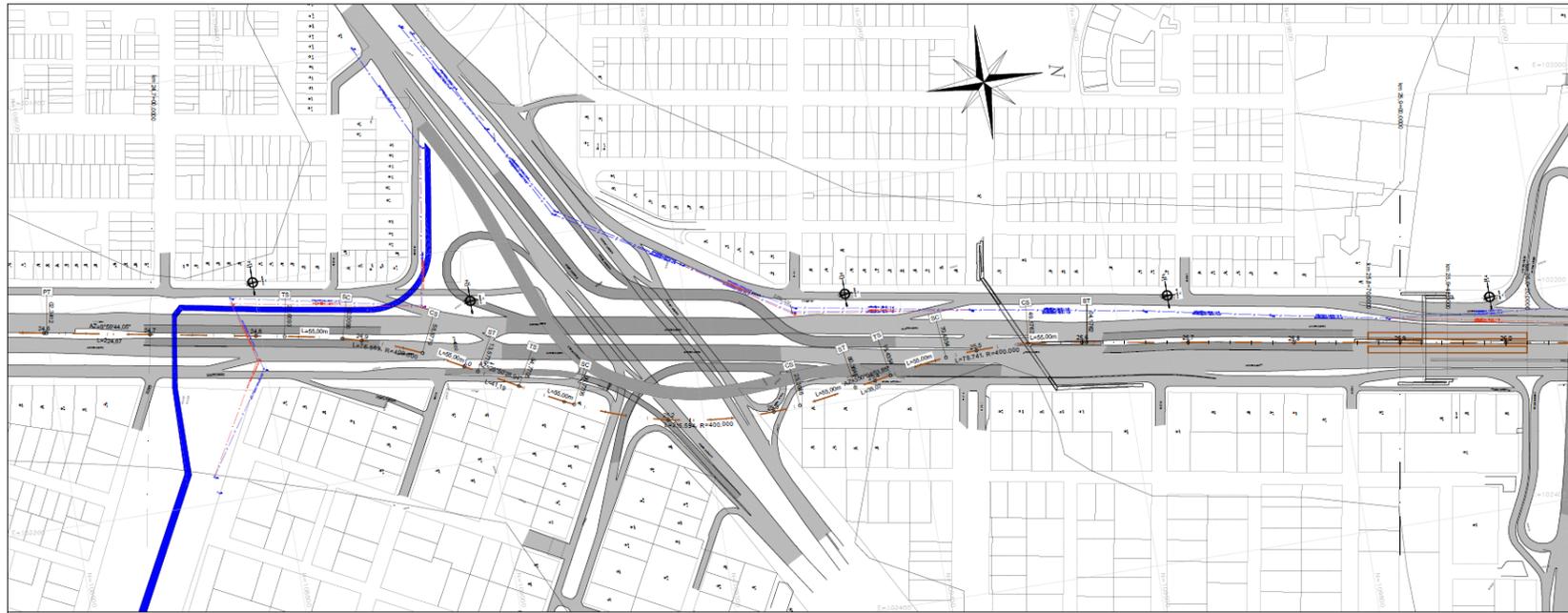
*Ilustración 22: Vista en planta Alternativa 6, Tramo calle 72-calle 90*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

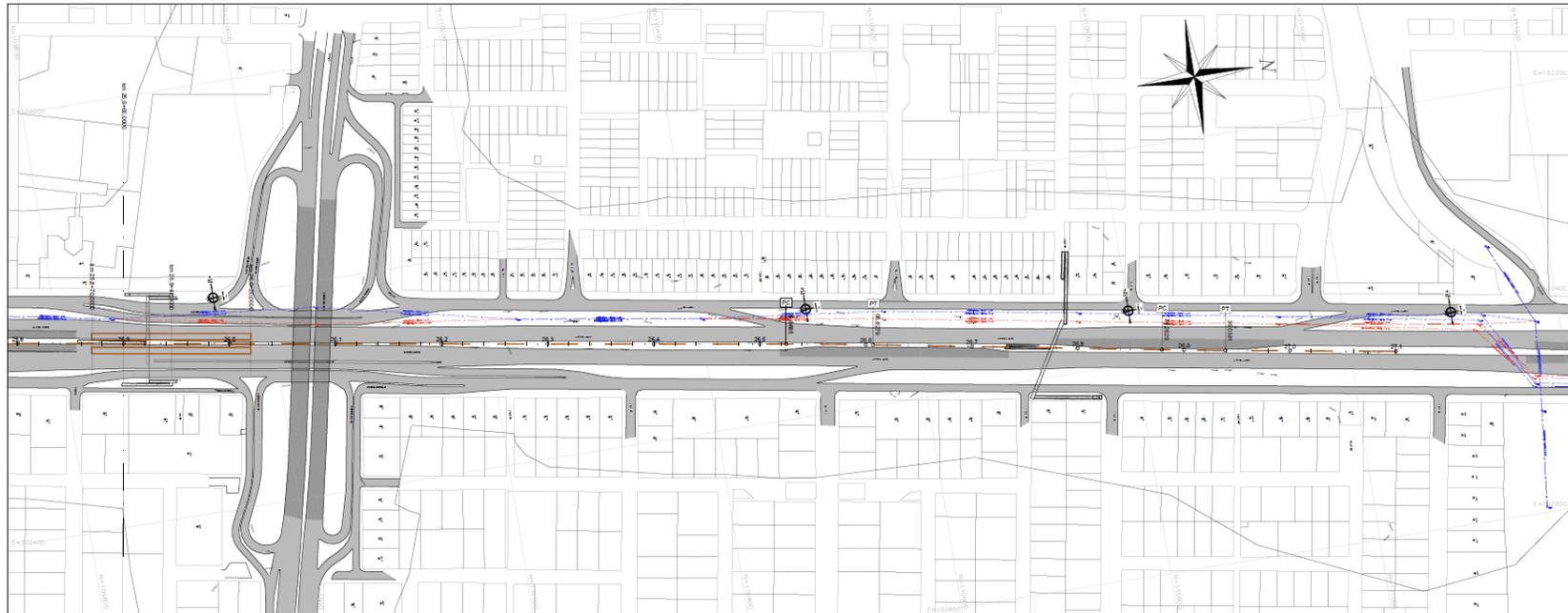
Ilustración 23: Vista en planta Alternativa 6, Tramo “nodo calle 92”-calle 100 Sur



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

*Ilustración 24: Vista en planta Alternativa 6, Tramo calle 100 Norte*



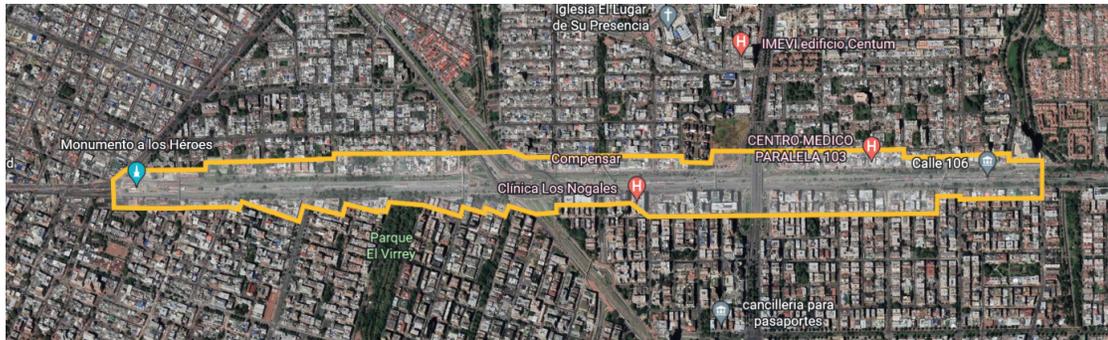
REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

### 3.5. INTERFERENCIAS CON LA ESTRUCTURA AMBIENTAL, HÍDRICA E HIDRÁULICA DE LAS ALTERNATIVAS

Cabe recordar que el proyecto de extensión se desarrolla en el corredor vial de la Autopista Norte desde los Héroes hasta la Calle 106 (aprox.).

*Ilustración 25: Zona de la extensión de la PLMB-Tramo 1*



A continuación, se presentan las distintas interferencias con la estructura ambiental, hídrica e hidráulica de las alternativas.

#### 3.5.1. Zonas de manejo y preservación ambiental.

Por la información de referencia, se conoce que el proyecto se implanta en la zona de influencia de las subcuentas de la quebrada El Virrey, canal Río Negro y quebrada Molinos, siendo estas las cuencas de drenaje más importantes que se encuentran dentro de la zona de influencia del proyecto; las cuales hacen parte de la red troncal de drenaje pluvial. Las obras del canal virrey en su desvío y descole hacia el rio Negro las que pudieran presentar interferencia con el proyecto.

*Ilustración 26: Canal Virrey – tramo paralelo con la Autopista Norte*



### 3.5.2. Sistemas de acueducto

- **Redes Menores:** Dentro de la zona se identifican tramos de tubería pertenecientes a las redes menores de acueducto de la ciudad, los cuales presentan diámetros de 2" a 16". Se estableció que las redes menores de acueducto se encuentran ubicadas en las Gerencias de Zona de la EAAB, para el corredor de la Autopista Norte, especialmente en la zona 1. Los sectores hidráulicos que hacen parte del proyecto son S17 (Zona 2) en el tramo de la calle 80 Bis hasta el canal el Virrey (calle 87), en la zona 1 por el costado occidental se encuentran los sectores S-09 de la calle 90 hasta la calle 106. Las redes menores contenidas en los sectores antes mencionados presentan principalmente materiales en PVC y AC, con diámetros que van de 3" a 12".
- **Redes Acueducto Matriz:** Tomando como base inicial la información de los datos técnicos de la EAAB y su sistema de información geográfico SIGUE, se tiene una de las redes más grandes del sistema de red matriz de Bogotá, la red Tibitoc – Casablanca que fue construida inicialmente en un diámetro de 78" en PCCP y que fue rehabilitada en el tramo correspondiente entre la planta Tibitoc y la intersección de la Calle 80, tramo que incluye el área de afectación directa del proyecto; su rehabilitación consistió en la inserción de una tubería nueva de acero de 72" de diámetro dentro de la tubería existente de 78", lo cual garantiza la capacidad de soportar cargas verticales del tráfico de los vehículos articulados de Transmilenio. Los diámetros predominantes en la red matriz en el área del proyecto son 24" y 60".
- **Sistemas de alcantarillado:** En cuanto a las redes de alcantarillado se tiene presencia de sistemas sanitarios, pluviales y combinados. Se estableció que se cuenta con un sistema combinado desde la zona comprendida entre los Héroes y la Avenida NQS. Desde la calle 92 hacia el norte, los sistemas

son separados. Para las redes troncales de alcantarillado pluvial y sanitario, se considera importante resaltar la presencia del canal Virrey y sus Interceptores Derecho e Izquierdo, canal La Castellana.

*Ilustración 27: Canal Virrey*



- **Redes alcantarillado Pluvial:** La zona aferente a la Autopista Norte a partir de la Calle 85 hacia el norte cuenta con la dinámica de drenaje pluvial Sentido Oriente – Occidente. Entre la Calle 92 y la Calle 106 cuenta con estructuras troncales de alcantarillado pluvial (colectores, box Culvert y canales abiertos) que cruzan transversalmente la Autopista provenientes de los cerros orientales y descargan principalmente en el Humedal Juan Amarillo.
- **Red de Alcantarillado Sanitario:** El sistema de alcantarillado sanitario opera en gran parte del recorrido de manera independiente al sistema de alcantarillado pluvial, destacándose la presencia de redes menores y troncales consolidadas a lo largo del corredor instalado en materiales como concreto, gres y ladrillo, sin interferencia directa con el proyecto.

### 3.5.3. Sistemas de energía eléctrica existente

- **Red de energía de alta tensión:** En la área de influencia del proyecto están presentes líneas de alta tensión propiedad de Codensa S.A. E.S.P. En la Autopista Norte, las líneas de alta tensión de 115 kV van por el separador del costado occidental, entre la Calle 86 y la Calle 114, en configuración de doble circuito trifásico. Las líneas de alta tensión interconectan principalmente las subestaciones de Castellana, Autopista, Suba, Morato, Usaquén y Torca. Esta Línea es interferencia directa con el proyecto.

*Ilustración 28: Línea de alta tensión de 115 kV*



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

- **Red de energía de media y baja tensión:** En la zona existen redes aéreas de media tensión 11.4 kV y para estas redes se utilizan postes de 12 m y 14 m con capacidad de rotura de 750 a 1350 kg. En general las redes de media y baja tensión están ubicadas en el espacio público de forma paralela a la vía existente y en algunos sectores se presentan cruces perpendiculares de las redes de forma subterránea.

*Ilustración 29: Línea de media tensión de 11.4 kV*



## 4. ANÁLISIS MULTICRITERIO

### 4.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para llevar a cabo la evaluación de las alternativas, se realizó a solicitud de FDN y de EMB, un Análisis Multicriterio el cual consiste en estructurar una metodología que permita el cumplimiento de un objetivo (evaluar la alternativa de emplazamiento geométrico férreo más pertinente), optimizando una decisión, a través de la jerarquización de criterios y subcriterios establecidos. Este análisis multicriterio se fundamenta en la metodología AHP - Analytic Hierarchy Process, o en español, Proceso de Jerarquía Analítica, el cual es una herramienta eficaz para la toma de decisiones cuando se contemplan diferentes perspectivas y criterios. Dicha metodología puede ayudar al tomador de decisiones a establecer prioridades y tomar la mejor decisión, reduciendo decisiones complejas a una serie de comparaciones por pares, sintetizando los resultados. (Saaty, 1980).

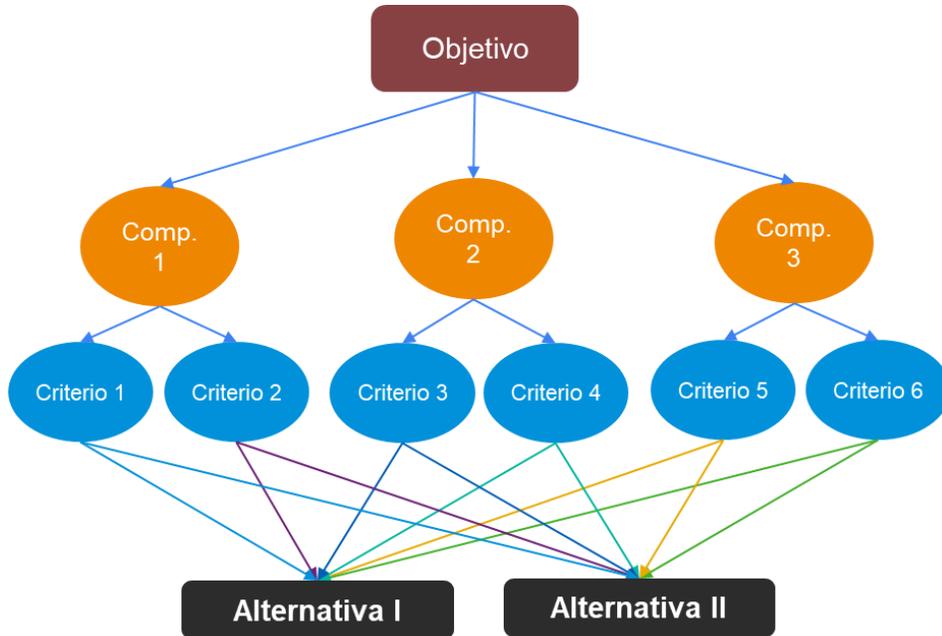
Dicha evaluación se desarrolla a través de los siguientes pasos:

- Construcción de la jerarquía
- Definición del objetivo
- Definición de los criterios
- Asignación de pesos a los criterios
- Asignación de puntaje a las alternativas

#### 4.1.1 Construcción de la jerarquía

Según el modelo AHP, el primer paso es elaborar la jerarquía, en donde se establece en primer nivel un objetivo que se quiere cumplir con la selección de la mejor alternativa, en segundo nivel los componentes de carácter macro a evaluar, seguido de unos subniveles opcionales asociados a criterios de cada uno de los componentes anteriormente definidos, de tal forma que se defina una jerarquía u organización escalonada ordenada de las variables/criterios a considerar en el análisis. Finalmente, esta jerarquización permite la evaluación de las alternativas formuladas para escoger la que resulte óptima para cumplir con el objetivo que se requiere, teniendo en consideración la importancia del conjunto de criterios analizados. Gráficamente, el proceso anterior se puede describir de la siguiente manera:

Ilustración 30: Diagrama de la jerarquía



Fuente: Steer, 2022

Teniendo en cuenta la estructura anterior, cada criterio se evalúa para cada una de las alternativas, permitiendo la estimación de un valor global derivado de la ponderación de la calificación de cada componente y los pesos o importancia que se le da a cada uno en la toma de la decisión como se explicará más adelante.

#### 4.1.2 Definición del objetivo

Según el modelo AHP, la definición del objetivo es una dirección identificada para mejorar una situación existente, donde muchas veces puede ser minimizar o maximizar dicha situación. Este objetivo es el primer nivel de la jerarquía y es independiente a los demás elementos de esta. Para este caso el objetivo se establece como la maximización de los beneficios derivados de extender la PLMB hasta la Calle 100, es decir, evaluar la alternativa de emplazamiento geométrico férreo que permite satisfacer los componentes y criterios de la manera más equitativa posible de acuerdo a sus respectivas asignaciones de peso.

#### 4.1.3 Definición de los componentes y criterios

Este paso consiste en identificar los componentes con los que se van a evaluar las alternativas antes definidas. Estos componentes son las dimensiones que afectan significativamente al objetivo que se ha establecido previamente, es decir, las consideraciones que se deben tener en cuenta para cumplir dicho objetivo. Estas consideraciones pueden ser de carácter cualitativo y cuantitativo que pueden ser medidas mediante diferentes metodologías.

Para identificarlos se procede a realizar una lista de las dimensiones que pueden afectar el objetivo establecido, y evaluar que estos no tengan una correlación fuerte entre sí, pues deben ser independientes para que cuando se evalúe con las alternativas no se duplique dicha evaluación, ya que podrían asignar indirectamente más importancia a un tipo de criterio.

Una vez se tengan identificados los componentes que pueden afectar la toma de decisiones y estos no estén correlacionados entre sí, estos se ubican en el segundo nivel de la jerarquía, como temas que afectan directamente al objetivo. Es importante tener en cuenta que la construcción de arriba hacia abajo se inicia con la identificación de componentes más globales, es decir desde lo más general hasta lo más particular.

En muchos procesos de jerarquía analítica, estos componentes tienen en cuenta otras consideraciones para poderse medir, por lo cual es necesario establecer criterios que hacen parte de ellos. Es importante aclarar que no necesariamente todos los componentes deben tener criterios a evaluar, estos se agregan según se requiera y se ubican en un tercer nivel dentro de la jerarquía construida, ya que estos deben guardar una relación jerárquica con el componente del que se desprenden.

Teniendo en cuenta lo anterior, los pasos que se deben llevar a cabo para la definición de criterios son:

1. Definir los componentes que son utilizados en el análisis multicriterio.
2. Definir si de los componentes establecidos se desprenden criterios.
3. En caso de tener criterios, se deben definir y establecer la manera en que se realizará su medición.

En la siguiente tabla se presentan los criterios evaluados para cada una de las alternativas, su descripción, forma de medición y tipología. Estos componentes y criterios son las dimensiones que influyen en la selección de la mejor alternativa y su incorporación en la matriz fue consensuada con el equipo de la FDN y la EMB:

*Tabla 5: Indicadores y criterios para la evaluación multicriterio*

Componente	Criterio	Descripción	Tipo	Unidad
Urbanos	Afectación a zonas de conservación y bienes de interés cultural BIC	Área de afectación a barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico a partir del tratamiento urbanístico de conservación del POT vigente de Bogotá. Peso del 80 % en la calificación del criterio	Cuantitativo o negativo (*)	m <sup>2</sup>
		Afectación a bienes definidos de interés cultural según el POT vigente de Bogotá. Peso del 20 % en la calificación del criterio	Cuantitativo o negativo	Número de BIC
	Potencial de renovación urbana y desarrollo	Área de renovación urbana y desarrollo de acuerdo con tratamientos urbanísticos del POT de Bogotá	Cuantitativo o positivo (**)	m <sup>2</sup>
	Accesibilidad a servicios urbanos	Número de servicios urbanos (zonas comerciales, equipamientos, parques, zonas recreativas, etc.) a distancias caminables altas, medias y bajas.	Cuantitativo o positivo	Número de servicios urbanos
Articulación con modos no motorizados	Disponibilidad directa del servicio	Población con acceso directo a las estaciones de la extensión de la PLMB, con tiempos de caminata de máximo 15 minutos de las estaciones de la alternativa	Cuantitativo o positivo	Personas

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

Componente	Criterio	Descripción	Tipo	Unidad
	Integración con red ciclista	Potencial de la estación a ser un nodo de integración con la red ciclista dentro de la zona de análisis, medido en kilómetros de red a máximo 15 minutos de recorrido en bicicleta.	Cuantitativo positivo	km
Operacionales	Integración con otros modos regionales	Pasajeros en la hora punta de la mañana (HPAM) integrados con los modos regionales (Regiotram del Norte y de Occidente) en las estaciones del Metro (PLMB y L2MB)	Cuantitativo positivo	Pasajeros/HPAM
	Demanda de pasajeros	Pasajeros transportados en la HPAM en la Metro (PLMB y L2MB) excluyendo los integrados con otros modos regionales	Cuantitativo positivo	Pasajeros/HPAM
	Costo generalizado	Costo generalizado de los viajes de la ciudad en transporte público	Cuantitativo negativo	min
Financieros	CAPEX	Inversión total de la extensión de la PLMB	Cuantitativo negativo	COP
	OPEX	Costo total de operación de la extensión de la PLMB	Cuantitativo negativo	COP
	Tiempo de construcción	Tiempo de construcción de la extensión de la PLMB	Cuantitativo negativo	Meses
Ambientales	Afectación de árboles	Número de árboles afectados por la construcción de la extensión de la PLMB con sus estaciones	Cuantitativo negativo	Árboles
Afectación a infraestructura	Afectación de infraestructura de Transmilenio	Meses de interrupción de la operación por cada estación de la alternativa	Cuantitativo negativo	Meses

Fuente: Steer, 2022

**(\*) Cuantitativo negativo:**

Para este caso, se evalúa la alternativa realizando un ejercicio inverso al anterior, puesto que, en este tipo de medición, a mayor valor numérico, se le asigna un menor valor a la alternativa. Para poder asignar un menor puntaje a la alternativa cuando se tiene un mayor valor numérico, se utiliza la siguiente metodología:

- A la alternativa de menor valor (Am) se le asigna el cálculo del criterio de la alternativa mayor (AM).
- A la siguiente alternativa menor (Am-1) se le asigna el puntaje de la mayor, menos la diferencia entre las dos menores.
- Se sigue la misma lógica para los siguientes valores, yendo del menor al mayor.
- Una vez se han reasignado los valores de las alternativas se procede a calcular el puntaje de cada una como en la metodología de los criterios cuantitativos positivos (valores entre 0 y 1).

La siguiente tabla muestra un ejemplo de dicha metodología, donde  $X < Y < Z$ .

Tabla 6: Matriz de evaluación cuantitativo positivo

Alternativa	Valor numérico	Valor reasignado	Valor de la alternativa
A1	$A_m = X$	$Z = U$	$\frac{U}{U+V+W}$
A2	$A_{m-1} = Y$	$Z - (Y-X) = V$	$\frac{V}{U+V+W}$
A3	$A_M = Z$	$Y - (Z-Y) = W$	$\frac{W}{U+V+W}$
<b>Total</b>	$X + Y + Z$	$U + V + W$	<b>1=100%</b>

Fuente: Steer, 2022

De esta manera se obtienen nuevos valores numéricos (U,V,W) y sobre estos se calculan los pesos relativos, garantizando que a mayor valor numérico, menor puntaje tendrá la alternativa en el criterio evaluado.

**(\*\*) Cuantitativo positivo:**

Teniendo en cuenta que en este tipo de evaluación de criterio para asignar valores a las alternativas se tienen valores numéricos, este tipo de cuantificación dice que a mayor valor numérico existe un mayor beneficio, por ende, la medición de este tipo de método consiste en realizar los pesos relativos de cada uno de los valores numéricos. Siguiendo con el ejemplo, si se tienen tres alternativas establecidas, se debe realizar la suma de los valores numéricos asignados de cada alternativa para cada subcriterio, posteriormente se calcula el valor porcentual de cada alternativa sobre el total calculado en el paso anterior. Este valor porcentual que se ubicará entre 0 y 1 (o 0 - 100%) corresponderá al puntaje o cuantificación final del criterio para esta alternativa.

Tabla 7: Matriz de evaluación cuantitativo positivo

Alternativa	Valor numérico	Valor de la alternativa
A1	X	$\frac{X}{X+Y+Z}$
A2	Y	$\frac{Y}{X+Y+Z}$
A3	Z	$\frac{Z}{X+Y+Z}$
<b>Total</b>	$X + Y + Z$	<b>1=100%</b>

Fuente: Steer, 2022

Esta metodología permite que, a valor mayor numérico, mayor valor tendrá la alternativa para el criterio evaluado.

**4.1.4 Asignación de pesos a los componentes criterios**

Una vez se tengan definidos los criterios que se tienen en cuenta para el análisis multicriterio, estos se deben examinar por medio de comparaciones pareadas. Estas evaluaciones o juicios son emitidos por los analistas o grupos de interés. Para llevar a cabo esta asignación de pesos se realizan las siguientes fases:

1. Establecimiento de las prioridades a los componentes y criterios
2. Asignación de pesos a los criterios y subcriterios
3. Cálculo de consistencia de los resultados de los pesos de criterios y subcriterios
4. Definición de pesos finales

Una vez que el procedimiento de cada una de estas fases, ha sido establecido, se acordó entre las distintas partes interesadas realizar un ejercicio de evaluación de la asignación de peso (ponderación) a cada criterio. Con la finalidad de obtener resultados coherentes, dicha ponderación se ha realizado por cinco profesionales de cada una de las partes interesadas [EMB, FDN, UT (SYSTRA, INGETEC y STEER) e Interventoría] por un total de 25 evaluaciones cuyos resultados finales de ponderación se presentan a continuación:

Tabla 8: Asignación de pesos final a los componentes y criterios definidos

Componente	Peso componente	Criterio	Peso criterio	Peso definitivo
Urbanos	16,1%	Afectación a zonas de conservación	21,9%	3,5%
		Potencial de renovación urbana y desarrollo	26,4%	4,3%
		Accesibilidad a servicios urbanos	51,7%	8,3%
Articulación con modos no motorizados	15,1%	Disponibilidad directa del servicio	75,0%	11,3%
		Integración con red ciclista	25,0%	3,8%
Operacionales	30,3%	Integración con otros modos regionales	28,3%	8,6%
		Demanda de pasajeros	44,9%	13,6%
		Costo generalizado	26,8%	8,1%
Financieros	23,9%	CAPEX	37,7%	9,0%
		OPEX	45,1%	10,8%
		Tiempo de construcción	17,2%	4,1%
Ambientales	7,5%	Afectación de árboles	100%	7,5%
Afectación a infraestructura	7,1%	Afectación de infraestructura de Transmilenio	100%	7,1%

Fuente: Steer, 2022

#### 4.1.5 Asignación de puntaje a las alternativas

Dependiendo de la manera en que se puede cuantificar el criterio, se utiliza la metodología ideal que se acoja a la medición óptima dependiendo de si la calificación es cuantitativa positiva o negativa, como se detalla en la tabla 5.

Este último paso consiste en calcular el valor global multiplicando los pesos de los criterios por los puntajes asignados a las alternativas, obteniendo un valor ponderado por la importancia de los componentes y criterios. Finalmente, la alternativa con mayor valor será la ganadora del análisis.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

#### 4.2 RESULTADOS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para la selección de la alternativa final, para cada criterio se le asignó un puntaje entre 0 y 100 a cada alternativa, esto a partir de los valores calculados en las secciones anteriores y siguiendo la metodología expuesta. Dichos puntajes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9: Asignación de puntajes a las alternativas

Criterio	Tipo de cuantitativo	Unidad	Valoración						Puntaje					
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Afectación a zonas de conservación	negativo	Puntaje	1.00	0.91	0.91	0.69	0.69	0.69	13.2	14.8	14.8	19.1	19.1	19.1
Potencial de renovación urbana y desarrollo	positivo	m <sup>2</sup>	668,119	650,920	635,059	335,979	335,979	335,979	22.6	22.0	21.4	11.3	11.3	11.3
Accesibilidad a servicios urbanos	positivo	Número de servicios urbanos	425	456	419	348	348	348	18.1	19.5	17.9	14.8	14.8	14.8
Disponibilidad directa del servicio	positivo	Personas	86,901	85,913	87,732	64,302	64,302	64,302	19.2	18.9	19.3	14.2	14.2	14.2
Integración con red ciclista	positivo	km	15.98	15.89	15.89	14.56	14.56	14.56	17.5	17.4	17.4	15.9	15.9	15.9
Integración con otros modos regionales	positivo	Pasajeros /HPAM	10,347	9,412	7,157	4,506	4,506	4,506	25.6	23.3	17.7	11.1	11.1	11.1
Demanda de pasajeros*	positivo	Pasajeros /HPAM	1,110	635	401	-	-	-	51.7	29.6	18.7	0.0	0.0	0.0
Costo generalizado*	negativo	min	-	8,000	51,116	153,023	153,023	153,023	38.3	36.3	25.5	0.0	0.0	0.0

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

Criterio	Tipo de cuantitativo	Unidad	Valoración						Puntaje					
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6
CAPEX	negativo	MMCOP	1,808	1,621	2,164	1,161	1,060	1,775	14.5	16.4	10.9	21.1	22.2	14.9
OPEX	negativo	MCOP/año	405,917	400,030	390,664	375,401	375,401	375,401	15.9	16.1	16.5	17.2	17.2	17.2
Tiempo de construcción	negativo	Meses	48	48	48	48	48	48	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
Afectación de árboles	negativo	Árboles	126	67	101	126	67	101	11.8	22.1	16.1	11.8	22.1	16.1
Afectación de infraestructura de Transmilenio	negativo	Meses	12	15	8	12	8	12	15.5	11.3	21.1	15.5	21.1	15.5

\*Estos criterios fueron normalizados dejando el de menor valor como cero y los siguientes como las diferencias con el menor.

Fuente: Steer, 2022

Se anexa al presente informe la planilla Excel EPLMB-ELM-E2.1B-ANX-0001\_R0 con el cálculo de matriz de evaluación multicriterio.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ENTREGABLE 2.1.B - INFORME DE ALTERNATIVAS DE EMPLAZAMIENTO GEOMÉTRICO FÉRREO  
EPLMB-EML-E2.1B-DGF-0001\_R0

Posteriormente los puntajes anteriores se multiplicaron por los pesos de cada criterio obteniendo así la alternativa de mayor puntaje: Alternativa 1, esta alternativa tiene 3 estaciones, con la de Chicó ubicada en el costado occidental de la Autopista Norte y presentó la mejor calificación para los criterios de potencial de renovación urbana y desarrollo, integración con la red ciclista, integración con modos regionales, demanda de pasajeros y costo generalizado.

Tabla 10: Resultados finales de la evaluación multicriterio

Criterio	Peso definitivo	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Afectación a zonas de conservación	3,5%	13.2	14.8	14.8	19.1	19.1	19.1
Potencial de renovación urbana	4,3%	22.6	22.0	21.4	11.3	11.3	11.3
Accesibilidad a servicios urbanos	8,3%	18.1	19.5	17.9	14.8	14.8	14.8
Disponibilidad directa del servicio	11,3%	19.2	18.9	19.3	14.2	14.2	14.2
Integración con red ciclista	3,8%	17.5	17.4	17.4	15.9	15.9	15.9
Integración con otros modos regionales	8,6%	25.6	23.3	17.7	11.1	11.1	11.1
Demanda de pasajeros	13,6%	51.7	29.6	18.7	0.0	0.0	0.0
Costo generalizado	8,1%	38.3	36.3	25.5	0.0	0.0	0.0
CAPEX	9,0%	14.5	16.4	10.9	21.1	22.2	14.9
OPEX	10,8%	15.9	16.1	16.5	17.2	17.2	17.2
Tiempo de construcción	4,1%	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
Afectación de árboles	7,5%	11.8	22.1	16.1	11.8	22.1	16.1
Afectación de infraestructura de Transmilenio	7,1%	15.5	11.3	21.1	15.5	21.1	15.5
<b>Puntaje global</b>		<b>23.8</b>	<b>21.2</b>	<b>18.1</b>	<b>12.0</b>	<b>13.2</b>	<b>11.7</b>

## 5. CONCLUSIÓN

De la aplicación del análisis multicriterio, se concluye que la Alternativa 1 es la más conveniente respecto a la conjugación de la suma de componentes, criterios y métricas puesto que obtiene el mayor puntaje resultante del análisis multicriterio.

En una mirada más amplia, se puede apreciar que el conjunto de alternativas de 3 estaciones obtiene globalmente un mejor puntaje que aquel de 2 estaciones, con resultados que oscilan en el rango de puntajes mayores en +50 a +100%.

Además, cabe señalar que la familia de alternativas de 3 estaciones logra imponerse a pesar de presentar un mayor CAPEX (debido a una estación adicional y más trenes necesarios para dar el servicio proveniente de un tiempo de vuelta redonda mayor) y un mayor OPEX (por contar con una estación adicional). Lo anterior significa que sus aportes de cobertura territorial, de integración regional y de demanda, como también de reducción del tiempo de viaje, logran equiparar y superar sus desventajas.

Por último, es preciso señalar que la Alternativa 2 se posiciona en segundo lugar y ha obtenido un puntaje un 11% más bajo que la Alternativa 1, mientras que la Alternativa 3 se posiciona en tercer lugar, con un puntaje un 24% menor que la Alternativa 1.

Los ejercicios de variación de la ponderación de componentes y criterios según diferentes interesados en el proyecto (UT, UT+FdN, EMB, UT+FdN+EMB, EMB) no modifican la recomendación, por lo tanto puede considerarse como robusta.