



**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 8  
SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES**

Documento No. EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

Elaborado por:



Financiera de Desarrollo Nacional



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEñALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

## CONTROL DE CAMBIOS

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

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
A	09-05-2022	-	Versión inicial
B	05-07-2022	-	Actualizado según comentarios Interventoría y EMB
C	21-07-2022	-	Actualizado según comentarios Interventoría y EMB
D	12-08-2022	-	Actualizado según comentarios EMB
0	01-09-2022	-	Versión aprobada

### ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de FDN)

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones

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

<p>Preparó:</p>  <p>N. Didi 01-09-2022</p>	<p>Revisó:</p>  <p>A. Alves 01-09-2022</p>	<p>Revisó:</p>  <p>F. Sanchez C. 01-09-2022</p>	<p>Aprobó:</p>  <p>M. Cermesoni 01-09-2022</p>
Especialista Señalización y Control de Trenes	VoBo. Coordinación SYS	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Director Técnico



## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. MARCO CONTRACTUAL	6
1.2. CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1	7
1.3. MARCO LEGAL	10
2. GENERALIDADES Y TABLA DE CORRESPONDENCIA	11
2.1. GENERALIDADES	11
2.2. TABLA DE CORRESPONDENCIA	11
3. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	13
3.1. PROCESO DE LICITACIÓN PLMB	13
3.2. PRINCIPALES FUNCIONES DEL SISTEMA DE SEñALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES	13
3.2.1 ATS	14
3.2.2 ATC o ZC	14
3.2.3 IXL	14
3.2.4 DCS	14
3.2.5 Detección secundaria	15
3.2.6 Señales Laterales	15
3.2.7 Sistema de Ayuda al mantenimiento	15
3.3. NUEVAS ESTACIONES Y CONDICIONES OPERACIONALES	15
3.4. CRITERIOS DE DISEÑO PLMB	16
4. CRITERIOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FUNCIONALES PARA LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1	17
5. INTERFACES	19
6. CONCLUSIÓN	20
7. NORMATIVA APLICABLE	21
7.1 Normas CBTC y generales	21
7.2 Normas ligadas al hardware y software	22
7.3 Normas asociadas a ElectroMagnetic Compatibility (EMC)	22
7.4 Normas para los cables	22
7.5 Normas asociadas a la instalación	22
7.6 Normas asociadas a las pruebas	23
7.7 Normas asociadas a las condiciones y requerimientos ambientales	23
7.8 Normas ligadas a la calidad	23
7.9 Otras normas	23

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEñALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

ANEXO 1: Especificaciones Funcionales y Técnicas del sistema de Señalización y control de trenes de PLMB considerando la extensión hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte	24
ANEXO 2: Planos de aparatos de vía	25
ANEXO 3: Plan de implantación y planificación	26

## 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, cuyo objeto es 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.

Los estudios de factibilidad del proyecto fueron elaborados en vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial contenido en el Decreto 555 de 2021, el cual fue suspendido temporalmente por el Juzgado Quinto Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá el catorce (14) de junio de 2022, es decir, con posterioridad a la elaboración de estos diseños. Sin embargo, una vez analizado el Plan de Ordenamiento Territorial en vigencia que corresponde al contenido en el Decreto 190 de 2004, se corroboró que los estudios de factibilidad realizados no contravienen lo establecido en dicho Decreto ni los instrumentos de Planeación Urbana que puedan derivarse del mismo.

El presente documento corresponde al entregable No. 8 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 “*Señalización y Control de trenes*” y presenta los estudios de los sistemas de señalización y Control de Trenes, tanto fijos como embarcados de la extensión PLMB-Tramo 1.

El presente informe consta de los siguientes capítulos:

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN (este capítulo).

Capítulo 2: LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

Capítulo 3: CRITERIOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FUNCIONALES PARA LA EXT PLMB.

Capítulo 4: NORMAS APLICABLES.

Capítulo 5: INTERFACES.

Capítulo 6: 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 una adición al mencionado 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.”

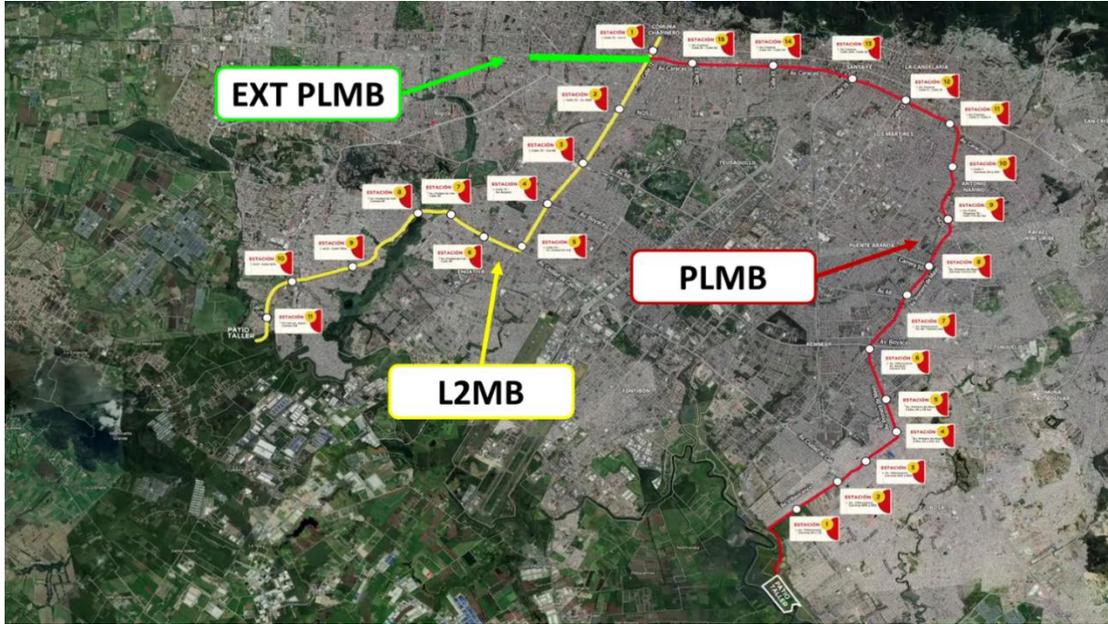
Se resalta que el componente legal y de integración de los estudios no hace parte del contrato 277 de 2021 mencionado anteriormente; estos estarán a cargo de la EMB.

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.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEñALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

Ilustración 1: Trazados PLMB y L2MB con punto de interconexión y trazado preliminar de la EXT PLMB (EPLMB)



### 1.3. MARCO LEGAL

Este documento corresponde al entregable 8 denominado “*Señalización y Control de Trenes*” que hace parte de las obligaciones asumidas por la FDN en el marco del contrato 277 de 2021, 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 transmitir las 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.

## 2. GENERALIDADES Y TABLA DE CORRESPONDENCIA

### 2.1. GENERALIDADES

El Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021, tiene por objeto “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 este sentido, se debe desarrollar la estructuración de las definiciones técnicas complementarias o modificatorias de los apéndices técnicos de la PLMB-Tramo 1, definidos por Empresa Metro de Bogotá para la licitación internacional que dio lugar a la celebración del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, y que resulten necesarias para viabilizar la adición de la extensión hasta la calle 100 con Autopista Norte.

Es importante señalar que, dicha extensión hereda todas las especificaciones técnicas de la PLMB-Tramo 1 plasmadas en los apéndices técnicos del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, excepto en aquellos/as infraestructuras, sistemas, subsistemas o elementos en los que explícitamente se deben establecer criterios de diseño distintos a aquellos ya definidos en el marco de la PLMB-Tramo 1. Por lo tanto, todos las infraestructuras, sistemas, subsistemas o elementos que no son modificados por el presente estudio de factibilidad, quedan regulados y definidos por los apéndices técnicos establecidos en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

En el caso específico de la especificación técnica **ET-11 Sistema de Señalización y Control de Trenes**, aplica el **Apéndice Técnico 8 - Sección 3 – Sistema Señalización y Control de Trenes (CBTC)** el cual se adjunta como anexo del presente documento.

Complementariamente, se señala que en los términos de referencia elaborados como parte de la estructuración integral de la PLMB que dieron como resultado la documentación y apéndices técnicos del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, se requerían un conjunto de análisis de alternativas con miras a tomar elecciones técnicas o tecnológicas para la PLMB. Por su parte, los términos de referencia del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, se apoyaron en los del Contrato de Concesión, con miras a guardar coherencia pero sin advertir que, en caso de volver a realizar dichos análisis y por tratarse de una extensión de línea, ya no se trataría de hacer una elección tecnológica sino de evaluar la modificación de una tecnología ya adoptada.

Lo anterior es particularmente relevante en el contexto de la estructuración técnica objeto del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, que prevé la construcción, suministro, operación y mantenimiento de la adición de la extensión hasta la calle 100 con Autopista Norte del Contrato de Concesión No. 163 de 2019. Igualmente, en caso de variar las definiciones técnicas y tecnológicas del contrato antes citado, se estarían introduciendo cambios sustanciales en la PLMB lo que podría tener impactos importantes en el desarrollo actual de este proyecto.

## 2.2. TABLA DE CORRESPONDENCIA

Según lo indicado en la sección 2.1 del presente documento, se presenta en la siguiente tabla la relación entre los productos solicitados por el contrato y los capítulos en donde estos ítems están desarrollados.

Nº	Ítems solicitados en el documento ET-11 SISTEMA DE SEñALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES	Secciones en donde se desarrollan los ítems correspondientes
1	Especificación Funcional	Referirse al documento de especificaciones funcionales y técnica actualizadas del sistema CBTC en anexo 1 del presente documento. Ref: <b>EPLMB-EML-ET-SCT-0001</b> <sup>2</sup>
2	Especificación Técnica, Arquitectura, Esquemas y Planos Tipo	En dicho documento, las especificaciones técnicas, la arquitectura definida en el capítulo 5.5 y los esquemas y planos tipos presentados en las diferentes ilustraciones se aplican a cabalidad a la extensión de la PLMB-Tramo 1.
3	Especificación de las Interfaces con otros sistemas y con Obra Civil.	Referirse al capítulo 5 del presente documento en el cual se describen los sistemas en interfaz con el sistema CBTC. La extensión de la PLMB-Tramo 1 no genera interfaz nueva aquellas aprobadas por EMB en el marco del contrato de estructuración de la PLMB.
4	Planos Preliminares de aparatos de vía y cables.	Para los planos de aparatos de vía aplicables, referirse a al anexo 2 del presente documento. Para los cables, cabe indicar que en el marco del contrato de estructuración de la PLMB-Tramo 1, solamente han sido entregadas especificaciones técnicas de cables que se encuentran descritas y aprobadas por EMB en su versión finalizada, en la sección 6.14 del documento especificaciones Funcionales y técnicas actualizadas del sistema CBTC presentado en anexo 1 del presente documento. Ref: <b>EPLMB-EML-ET-SCT-0001</b>
5	Planos Tipo de los Equipos	Sigue aplicando el documento <b>ETPLMB-ET11-L01-PLA-J-0003_R0</b> elaborado y aprobado por EMB en el marco del contrato de estructuración de la PLMB-Tramo 1. Se adjunta dicho documento al presente entregable.
6	Plan de implantación y planificación	Referirse al plano <b>EPLMB-EML-PL-SCT-0001</b> presentado en anexo 3 del presente documento.
7	Especificaciones de los planes de soporte y mantenimiento del sistema.	Referirse a los apéndices del documento plan de mantenimiento. Ref: <b>EPLMB-EML-E5-PMP-0001</b>
6	Especificación del plan de capacitación (operación y mantenimiento del sistema).	Referirse al capítulo 12 de las especificaciones Funcionales y técnicas actualizadas del sistema CBTC, en anexo 1 del presente documento. Ref: <b>EPLMB-EML-ET-SCT-0001</b> .
7	Simulaciones de Marcha.	Referirse a los apéndices del documento plan de Operación Preliminar donde los resultados de la simulación de marcha están entregados. Ref: <b>EPLMB-EML-E5-POP-0001</b>

<sup>2</sup> El documento **EPLMB-EML-ET-SCT-0001\_RA** representa la actualización del *Apéndice Técnico 8 - Sección 3 – “Sistema Señalización y Control de Trenes (CBTC)”* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 con las adecuaciones necesarias por la adición de la extensión de la PLMB-Tramo 1.

### 3. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

#### 3.1. PROCESO DE LICITACIÓN PLMB

Dentro del proceso de licitación del sistema de Señalización y Control de trenes de la PLMB fue basado y normado según la siguiente documentación:

- ❖ ET-11\_Sistema de Señalización y Control de Trenes
  - Criterios de Diseño.
    - ETPLMB-ET11-L00-IFU-J-0001\_R0
  - Especificaciones Funcionales y Técnicas CBTC - Señalización
    - ETPLMB-ET11-L01-ETE-J-0001\_R0
  - Especificaciones de capacitación
    - ETPLMB-ET11-L01-ETE-J-0002\_R0
  - Planos
    - ETPLMB-ET11-L01-PLA-J-0001\_R0
    - ETPLMB-ET11-L01-PLA-J-0002\_R0
    - ETPLMB-ET11-L01-PLA-J-0003\_R0
- ❖ *Apéndice Técnico 8 - Sección 3 – “Sistema Señalización y Control de Trenes (CBTC)” del Contrato de Concesión No. 163 de 2019.*

La documentación expuesta anteriormente permitió licitar y adjudicar la PLMB, también en la actualidad permite validar el diseño de detalle que está en desarrollo.

#### 3.2. PRINCIPALES FUNCIONES DEL SISTEMA DE SEñALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES

El sistema de señalización y control de trenes de la PLMB está basado en una arquitectura típica con detección secundaria.

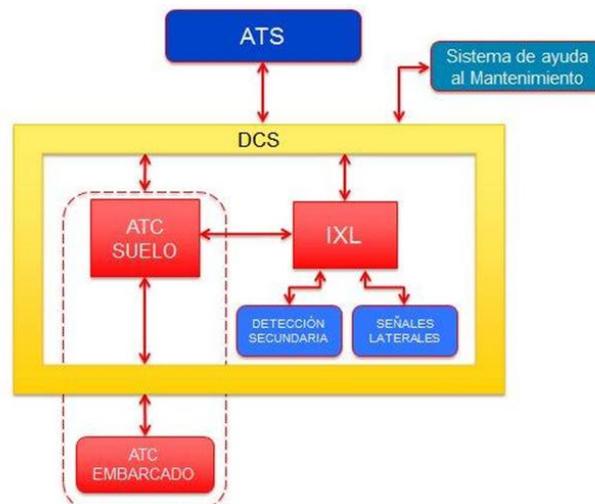


Ilustración 2: Arquitectura típica con detección secundaria

Se trata de una arquitectura típica de las soluciones de los proveedores más comunes. Corresponde a la arquitectura convencional que se puede adaptar a la señalización existente de una línea. Es adecuada para proyectos de señalización (Brownfield) que requieren mantener la señalización secundaria para mantener la operación mixta.

### 3.2.1 ATS

Supervisión Automática del Tren (ATS): el subsistema ATS proporcionará todas las funciones de supervisión y control automatizados necesarios para lograr plenamente la gestión del tráfico automático, incluyendo el establecimiento automático de los itinerarios a lo largo de las secciones de la línea y de Talleres. El ATS entregará funciones específicas para el manejo de los trenes no equipados y permitirá la gestión las situaciones de los modos degradados.

### 3.2.2 ATC o ZC

Control Automático de Trenes (ATC): conocido como el controlador de Zona (ZC) bajo la tecnología CBTC, este subsistema controla automáticamente la circulación de los trenes UTO. El ATC debe incluir la protección automática del tren proveída por el ATP y la operación automática proveída por el ATO.

Protección Automática de Trenes (ATP): este subsistema deberá controlar y supervisar las operaciones de los trenes UTO de una forma que garantiza la seguridad de los pasajeros, del personal de operaciones, mantenimiento o de servicio de limpieza.

Operación Automática de Trenes (ATO): este subsistema dentro del sistema de control automático del tren realizará funciones que garantizan en seguridad el respecto de las velocidades y puntos de detención programados, y asegura el control automático de apertura y cierre de las puertas del tren. Este subsistema participa también al confort de los pasajeros limitando la tracción y la desaceleración de acuerdo a los valores de Jerk límite especificado.

### 3.2.3 IXL

Enclavamiento (IXL): este subsistema realizará los enclavamientos necesarios para permitir al sistema CBTC, en el modo nominal, de generar en seguridad las autorizaciones de marcha de los trenes UTO. En el modo degradado donde se requiere una conducción manual o la conducción de vehículos auxiliares de mantenimiento, el IXL permitirá la detección de los vehículos y el comando y control de los itinerarios, incluyendo la supervisión y el enclavamiento de los cambiavías.

### 3.2.4 DCS

Sistemas de comunicaciones DCS: El sistema CBTC requiere una red de comunicación independiente a fin de garantizar una comunicación confiable y disponible entre diferentes subsistemas del sistema CBTC (ATS, ATC e IXL).

La red DCS es implementada por un conjunto de equipos informáticos y software conectados entre sí por medio de dispositivos físicos ("por ejemplo; servidores, fibras ópticas") o de tipo inalámbrico entre los trenes y la red de tierra. Este operará en banda de 5.8 GHz.

Los subsistemas envían y reciben datos según protocolos de comunicaciones estándares o propietarios.

Por razón de seguridad, los cambios de mensajes entre redes diferentes se realizan con cortafuegos informáticos ("firewall").

### 3.2.5 Detección secundaria

Corresponde a los equipos necesarios para la detección de los trenes no comunicantes o vehículos de mantenimiento. La detección secundaria es en base de la tecnología de contadores de ejes.

### 3.2.6 Señales Laterales

Corresponde a todas las señales necesarias para la conducción manual tal como los indicadores de la posición de agujas y de velocidad y placas de maniobra.

### 3.2.7 Sistema de Ayuda al mantenimiento

Una herramienta para la supervisión y diagnóstico de la Red DCS y todos los elementos y equipos del sistema de señalización y control de trenes

## 3.3. NUEVAS ESTACIONES Y CONDICIONES OPERACIONALES

La extensión de línea proyectada tiene longitud total de aproximadamente 3,4 km, e incorporará 3 estaciones a las 16 de la PLMB:

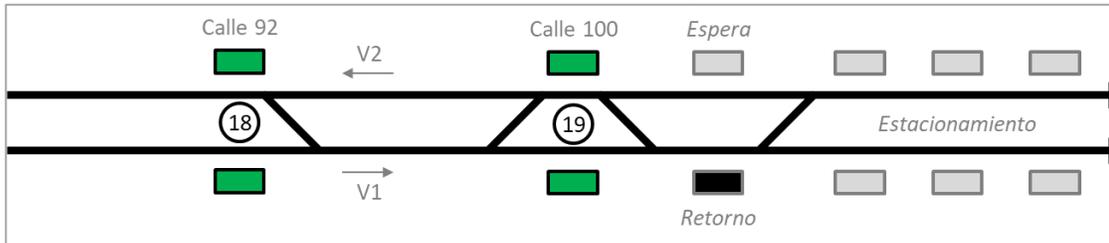
- Estación N°17 en calle 82;
- Estación N°18 en el "nodo calle 92";
- Estación N°19 al norte de la calle 100.

Está prevista con vía doble sobre viaducto en U. Esta longitud incluye las vías principales, las vías posteriores a las estaciones Calle 100 y el empalme con la PLMB actualmente en construcción en las inmediaciones de la Plazoleta del Monumento a Los Héroes.

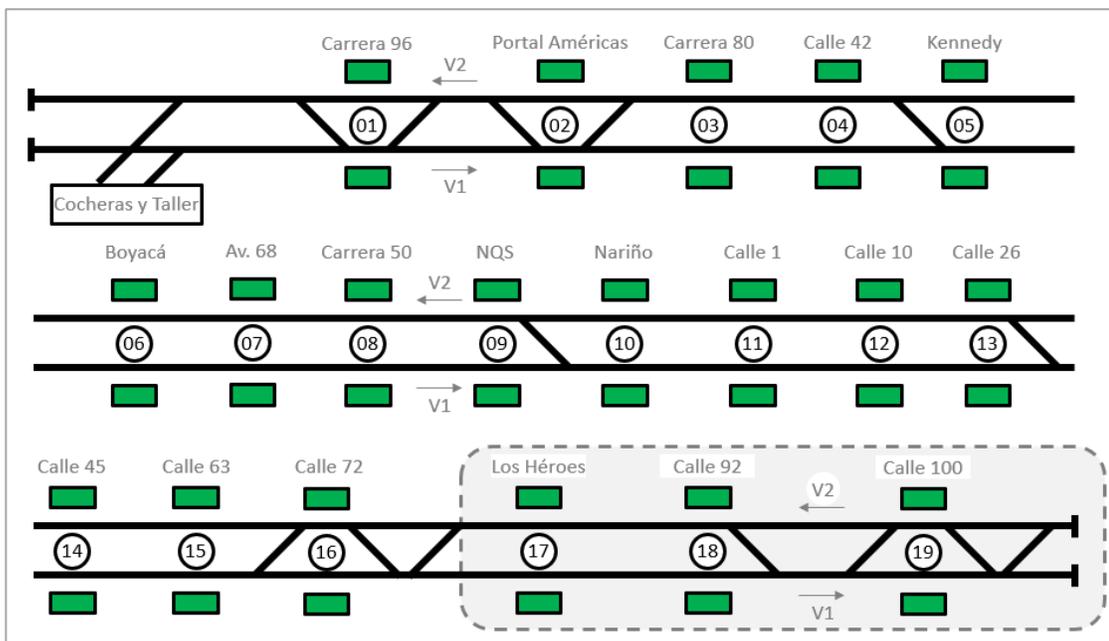
Para los requisitos en operación, se prevé:

- Una comunicación simple (un cambiavía simple o escape simple según la versión española de la norma EN 13232-1 Aplicaciones ferroviarias vías aparato de vías Parte 1 definiciones) para los retornos tras estación N°19 y la posibilidad de estacionar siete trenes en la cola de maniobra;
- Una comunicación simple adelante de la estación N°19 para maniobra 0 o AD para la recuperación de demoras o falla del retorno tras estación;
- Una comunicación simple para operación tras estación N°18 para retorno, servicio parcial o provisional bucles, etc. y para realizar mantenimiento en el ADV de retorno de servicio nominal tras estación N°19;
- Se emplearán las IHM de los puestos de tráfico en el CCO para integrar la señalización y el control de trenes en el tramo de la extensión EPLMB.

Ilustraci3n 3: Plano estaciones 18 y 19



Ilustraci3n 4: Plano de v3as de la PLMB con su extensi3n



### 3.4. CRITERIOS DE DISEñO PLMB

Los criterios de diseño para el sistema de Señalizaci3n y Control de Trenes de la PLMB est3n orientados a la operaci3n de un Metro con un grado de automatizaci3n GoA4, con tecnolog3a CBTC. Es por ello que los operadores de tr3fico en el CCO deben contar con una serie de herramientas que permitan comando/controlar la operaci3n de la l3nea principal, patio talleres asegurando a los pasajeros una experiencia de viaje eficiente y segura.

El siguiente capitulo define el impacto de la extensi3n de la l3nea sobre las especificaciones del sistema Señalizaci3n y Control de Trenes de la PLMB.

## 4. CRITERIOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y FUNCIONALES PARA LA EXTENSIóN DE LA PLMB-TRAMO 1

En base a la documentación analizada en el punto 2 del presente documento, presentamos el siguiente cuadro resumen que permitirá definir los lineamientos para la construcción de las especificaciones técnicas para la EXT PLMB.

*Tabla 1: Cuadro Resumen de los criterios de diseño y especificaciones técnicas y funcionales para la extensión de la PLMB*

Subsistemas del sistema Señalización y Control de Trenes	Criterio Diseño PLMB (SI/NO)	Especificación Funcional y técnica PLMB (SI/NO)	Aplican Nuevos Criterios de Diseño para EXT PLMB	Comentarios
ATS	SI	SI	NO	Se debe considerar la extensión del sinóptico de la línea principal al nuevo terminal y el control y supervisión de los trenes y equipos en el nuevo tramo de la extensión
ATC (ZC)	SI	SI	NO	Se debe prever actualización de las bases de datos considerando los datos de la extensión y agregación de una nueva zona de control con sus dedicados equipos. Los nuevos trenes deben ser equipados de equipos embarcados para realizar la función ATC embarcada y la comunicación inalámbrica con los equipos suelos.
IXL	SI	SI	NO	Se debe prever actualización las tablas de control y agregar la gestión los nuevos itinerarios considerando los datos del tramo de la extensión. También se debe considerar equipos de enclavamiento nuevos para la gestión del tramo de extensión.
Red DCS	SI	SI	NO	En base al análisis de la información disponible de la PLMB, esta permitirá construir las especificaciones para la EXT de la PLMB. El único punto que se debe considerar es la temporalidad de la aprobación de los diseños que permitan disminuir la obsolescencia previendo que no se puedan comprar las partidas de equipos en el mismo lote, tanto para la PLMB como para la EXT PLMB.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEñALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

Detección Secundaria	SI	SI	NO	Agregar bloques de detección secundaria en el tramo de la extensión con las mismas especificaciones técnicas que las de PLMB
Señales Laterales	SI	SI	NO	Agregar indicadores de posición de aguja y de velocidad, y placas de maniobra en el tramo de la extensión con las mismas especificaciones técnicas que las de PLMB
Sistema de ayuda al mantenimiento	SI	SI	NO	Agregar los elementos y equipos del tramo de la extensión en el sistema originalmente previsto para la PLMB. Agregar los equipos de los nuevos trenes con las mismas especificaciones que las de PLMB

## 5. INTERFACES

A continuación, se identifican los sistemas en interfaz con CBTC

- CBTC. Material rodante;
- Puertas de Andén;
- Sistema de comando y supervisión (SCADA) (con exclusión de las funciones ATS -parte del CBTC);
- Sistema Comunicaciones: Información y anuncio a Pasajeros (PIS/PAS) y Cronometría; Vías y tercer riel;
- Energía;
- Vía
- Máquina de Lavado
- MMS (Sistema de gestión de mantenimiento); Máquina de lavado;
- Obras Civiles;
- Herramienta: Softwares de Programación operativa.

*Ilustración 5. Interfaces externas del sistema de señalización CBTC*



El Contratista deberá prever, describir y gestionar las interfaces con obras civiles y otros sistemas.

## 6. CONCLUSIÓN

Para el sistema de Señalización y control de trenes podemos concluir que existe la capacidad de integración del tramo de extensión sin tener que considerar nuevos criterios de diseño, sin embargo, es importante actualizar las especificaciones funcionales y técnicas de PLMB para la extensión que contemplen lo siguiente:

1. Modificar los requerimientos de la PLMB que hacen referencia a la configuración original de la línea,
2. Actualizar los planos de la línea,
3. Mantener las prestaciones para los servidores centrales y la red DCS, considerando el mismo requerimiento para las reservas requeridas, incluyendo la extensión,
4. Definir una nueva zona de control para la extensión dentro de la solución tecnológica propuesta por el concesionario. En este sentido y para evitar sobre costos para EMB, se sugiere que sea integrada por el concesionario como una nueva zona de control en lugar de modificar su estructura y definir una nueva sectorización (zonificación),
5. Considerar las desviaciones acordadas luego de la etapa de consultas y respuesta y durante el diseño en curso de la PLMB con el fin de considerar estas desviaciones en las especificaciones funcionales y técnicas.

## 7. NORMATIVA APLICABLE

Se diseñará el sistema de Señalización y Control de Trenes del tramo de la extensión aplicando la normativa internacional ferroviaria conforme a la lista a la cual se refiere el presente documento y a las normas especificadas en cada sección.

Se podrá proponer estándares alternativos de igual o mayor nivel de exigencia, realizando un estudio comparativo para demostrarlo.

Las normas aplicables al suministro del sistema y a las cuales se refieren los capítulos del presente documento se encuentran a continuación:

### 7.1 Normas CBTC y generales

- EN 50126 Railway Applications - The Specifications and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS);
- EN 50128 Railway Applications - Communication, Signalling and Processing Systems Software for Railway Control and Protection Systems;
- EN 50129 Railway applications - Safety Related Electronic Systems for Signalling; EN 60721 Classification of Environmental Conditions;
- EN 50121-4 Railway Applications - Electromagnetic Compatibility Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus;
- EN 50125-1 Railway applications. Environmental conditions for equipment. Equipment on board rolling stock;
- EN 50125-3 Railway applications. Environmental conditions for equipment. Equipment for signalling and tele-communications;
- EN 50129-1 Railway Applications - Communication, Signalling and Processing Systems Part 1: Safety related Communication in Closed Transmission Systems;
- EN 61000-6-2 Electromagnetic Compatibility, Part 6-2: Generic Standards, Immunity for Industrial Environments;
- EN 61000-6-4 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 6-4: Generic standards: Emission Standards for Industrial Environments;
- IEC 60870-5-1 Tele control Equipment and Systems, Part 5: Transmission Protocols, Section 1: Transmission Frame Formats;
- IEC 61000 -4-5 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques, Section 5: Surge Immunity Test;
- IEC 62290-1 Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts;
- IEC 62290-2 Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 2: Functional requirements specification;
- IEEE 1474.1 IEEE standard for CBTC (Communication Based Train Control) performance and functional requirements;
- IEEE 1474.2 IEEE Standard for CBTC User Interface Requirements;
- IEEE 1474.3 IEEE recommended practice for CBTC system design and functional allocation;

## 7.2 Normas ligadas al hardware y software

- EN 50128 Aplicaciones Ferroviarias - Software para sistemas de control y protección del ferrocarril;
- CENELEC IEC 60571 - Equipo eléctrico utilizado en vehículos ferroviarios;
- EN 50155 Aplicación Ferroviaria: Equipo eléctrico utilizado en material rodante; EN 60447 Principios de accionamiento de interfaces hombre-máquina;
- IEC 1131 Controladores Lógicos Programables: Información general.

## 7.3 Normas asociadas a ElectroMagnetic Compatibility (EMC)

- EN55022 Límites y métodos de medición de perturbaciones radioeléctricas características de equipos informáticos;
- EN50121-1 a 5 Aplicaciones Ferroviarias Compatibilidad electromagnética; EN50081-2 CEM Norma de Emisión Genérica-Pt. 2 Entorno industrial;
- EN50204 Emisión de campos electromagnéticos de radiotelefonía digital. Prueba de inmunidad;
- EN55014-2 CEM Norma Genérica de Inmunidad Pt.2 Entorno industrial;
- EN55015 Límites y métodos de medición de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares;
- EN55061 Pruebas de inmunidad a las descargas electrostáticas; EN 61000-4 Compatibilidad Electromagnética (CEM);
- IEC 1000-5-2 EMC Guía de cableado;
- EN61000-4-2 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-2: Pruebas y técnicas de medición Prueba de Inmunidad a las descargas electrostáticas;
- EN61000-4-3 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-3: Pruebas y técnicas de medición Prueba de Radiación, radiofrecuencia, inmunidad campo electromagnético;
- EN61000-4-4 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-4: Pruebas y técnicas de medición Ensayos de inmunidad a los transitorios eléctricos rápidos en ráfagas;
- EN61000-4-5 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-5: Pruebas y técnicas de medición Ensayos de inmunidad a las ondas de choque;
- EN61000-4-6 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-6: Pruebas y técnicas de medición Inmunidad a alteraciones conducidas inducidas por campos de frecuencias radiales;
- EN61000-4-8 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-8: Pruebas y técnicas de medición Ensayos de inmunidad a los campos magnéticos a frecuencia industrial;
- EN61000-4-9 Compatibilidad Electromagnética (CEM) Parte 4-9: Pruebas y técnicas de medición Ensayo de inmunidad a los campos magnéticos implosionales.

## 7.4 Normas para los cables

- NF EN50-306 -1-4 Aplicaciones Ferroviarias - Los cables del material rodante ferroviario con protección especial contra incendios - Pared delgada. Parte 1 a Parte 4;
- NF F 55-622 Instalaciones Fijas Ferroviarias - cables libres de halógenos de señalización y advertidora de alarma para redes ferroviarias subterráneas;
- NF F 55-623 Instalaciones Fijas Ferroviarias - cables libres de halógenos para telecomandos y teletransmisiones para redes ferroviarias subterráneas;
- NF F 55-642 La especificación del producto para fibra óptica utilizada en la red ferroviaria para telecomunicaciones locales y de larga distancia.

## 7.5 Normas asociadas a la instalación

- IEC61000-5-2-Parte 5 Instalación y medidas de mitigación Sección 1: Consideración general;
- IEC61000-5-2-Parte 5 Instalación y medidas de mitigación Sección 2 Puesta a tierra y cableado

### 7.6 Normas asociadas a las pruebas

- IEC 61 373 Aplicaciones Ferroviarias Equipo de material rodante Pruebas de impacto y vibración;
- IEC 60 068 Pruebas ambientales.

### 7.7 Normas asociadas a las condiciones y requerimientos ambientales

- CEN/TS 45545-1-4 Aplicaciones Ferroviarias. Protección contra incendios en vehículos ferroviarios.
  - Parte 1: Generalidad;
  - Parte 2: Requisitos del comportamiento al fuego de los materiales y componentes;
  - Parte 3: Requisitos de resistencia al fuego de las barreras de fuego;
  - Parte 4: Requisitos de seguridad contra incendios para el diseño de material rodante ferroviario;
- EN 60529 Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP) Índice de protección;
- EN 50125-1 a 3 Aplicaciones Ferroviarias. Condiciones ambientales para el equipo:
  - Parte 1: Equipo a bordo del material rodante;
  - Parte 2: instalaciones eléctricas fijas;
  - Parte 3: Equipamiento para la señalización y las telecomunicaciones;
- EN 60068-1 Ensayos Ambientales: generalidades y guía;
- EN 60068-2-1 Ensayos Ambientales Ensayo A : frío;
- EN 60068-2-2 Ensayos Ambientales Ensayo B: calor seco;
- EN 60068-2-78 Ensayos Ambientales: Ensayo continuo de calor húmedo;
- EN 60068-2-30 Ensayos Ambientales: Ensayo DB: ensayo cíclico de calor húmedo;
- EN 60068-2-61 Ensayos Ambientales. Ensayos Z/ABDM / secuencia climática;
- ISO 9227 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales - pruebas de niebla salina.

### 7.8 Normas ligadas a la calidad

- ISO 9000-3 Pautas para la aplicación de ISO 9001 para el desarrollo, suministro y mantenimiento del software;
- ISO 9001 Sistemas de calidad - Modelo para el aseguramiento de la calidad en diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio.

### 7.9 Otras normas

- NFPA130 Estándar sobre la última edición de sistemas ferroviarios para transporte de vehículos y viajeros sobre guías fijas;
- IEEE 802.11 Redes de área local inalámbricas.

El sistema de Señalización y Control de trenes debe ser diseñado y sus equipos fabricados y probados en conformidad con las normativas vigentes listadas con sus últimas revisiones, al inicio de la fase de diseño del proyecto.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEÑALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

## **ANEXO 1: Especificaciones Funcionales y Técnicas del sistema de Señalización y control de trenes de PLMB considerando la extensión hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte**

Referirse al documento **EPLMB-EML-ET-SCT-0001**<sup>3</sup>.

---

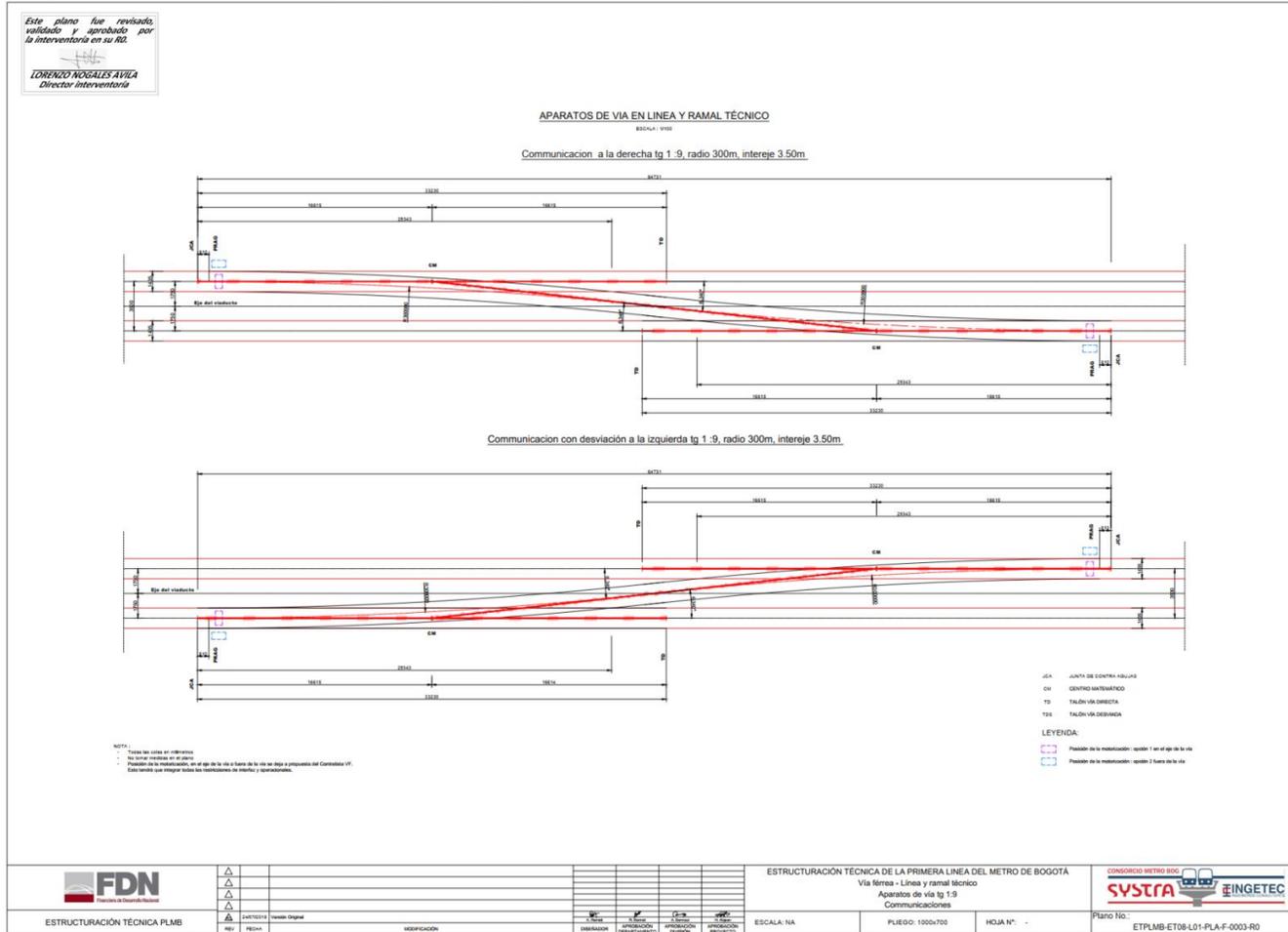
<sup>3</sup> El documento **EPLMB-EML-ET-SCT-0001\_RA** representa la actualización del *Apéndice Técnico 8 - Sección 3 – “Sistema Señalización y Control de Trenes (CBTC)”* del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 con las adecuaciones necesarias por la adición de la extensión de la PLMB-Tramo 1.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEÑALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

## ANEXO 2: Planos de aparatos de vía

Los planos de aparatos de vía de la PLMB siguen aplicando al proyecto de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100 con Autopista Norte.



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA  
PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 – SEÑALIZACIÓN Y CONTYROL DE TRENES  
EPLMB-EML-E8-SCT-0001\_R0

### **ANEXO 3: Plan de implantación y planificación**

Referirse al plano **EPLMB-EML-PL-SCT-0001**.