



**ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.**

**Instituto
DESARROLLO URBANO**



**“ELABORAR LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR
FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FÉRROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN
CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ-
CUNDINAMARCA.”**

**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**
CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1860 DE 2021

Instituto de Desarrollo Urbano

**INFORME 2: REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN - RAI
INGENIERÍA FERROVIARIA**

VERSION 5





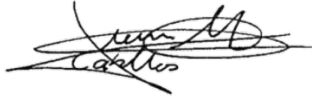
BOGOTÁ, 2022 – junio 24

REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN - RAI

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 0	03/03/22	Elaboración Inicial	115
Versión 1	25/03/22	Atención Observaciones Interventoría	107
Versión 2	06/04/22	Atención Observaciones interventoría	116
Versión 3	07/04/22	Atención Observaciones interventoría	119
Versión 4	05/05/22	Atención Observaciones IDU	136
Versión 5	24/06/22	Atención Observaciones IDU y mesa de trabajo 22 de junio	145
Ruta almacenamiento			
Y:\P1674 Regiotram SUR diseños\9.Trabajo\1.Tecnico\Informe 2. RAI\OBSERVACIONES IDU			

EMPRESA CONTRATISTA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	
	 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano		
			
			
			
<p>Jesús Mazcuñan Arce Especialista en Ingeniería Ferroviaria</p>		<p>Ing. Carlos Urdaneta Coordinador de consultoría</p>	<p>Ing. Oscar Rico Director de Consultoría</p>
<p>Sergio Rapino Carmona Experto en Superestructura Ferroviaria</p>			
<p>Argenis Ruíz Rodriguez Experto en Operaciones Ferroviarias</p>			
<p>Juan Manuel Cabellos Experto en electrificación y señalización</p>			

EMPRESA INTERVENTORA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
	<p>Diotima Preciado G.</p>  <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano</p>	
		
		
		
Hernando Rodríguez P. Especialista en Ingeniería Ferroviaria	<p>Ing. Diotima Preciado Coordinador de Interventoría</p>	<p>Ing. Abraham Palacios Director de Interventoría</p>
Fernando Rey Valderrama Experto en Superestructura Ferroviaria		
Germán Forero Cortés Experto en Operaciones Ferroviarias		
William Medina Vera Experto en electrificación y señalización		

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	12
1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. DESCRIPCIÓN DEL CONTRATO	13
3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	13
4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA	15
5. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	16
5.1. INFRAESTRUCTURA DE VÍA	18
5.1.1. Composición de Infraestructura de vía del Sistema Regiotram Occidente y la PLMB 19	
5.1.1.1. Losa inferior	22
5.1.2. Composición da la Infraestructura de vía de la Segunda Línea del Metro de Bogotá – SLMB.....	22
5.1.2.1. Secciones de vía en Túnel	22
5.1.2.2. Tramo en túnel entre pantallas.....	24
5.1.2.3. Tramo en viaducto	25
5.1.2.4. Ventilación de túnel.....	27
5.1.2.5. Ventilación Bi Túnel	28
5.1.2.6. Ventilación Túnel único	28
5.1.2.7. Cámaras de ventilación.....	28
5.2. SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA.....	29
5.2.1. Composición Técnica de la Superestructura del Proyecto Regiotram Occidente.....	30
5.2.1.1. Plataforma ferroviaria de vía en placa	32
5.2.1.2. Principios de drenaje.....	32
5.2.1.3. Plataforma ferroviaria de vía en balasto	33
5.2.1.4. Balasto.....	34
5.2.1.5. Drenaje	34

5.2.1.6.	Revestimientos y tratamiento de intersecciones.....	34
5.2.1.7.	Sección Tipo de Vía en Balasto	36
5.2.1.8.	Aparatos de vía.....	38
5.2.1.9.	Aparatos para riel Vignole / Vía balasto	38
5.2.2.	Composición Técnica de la Superestructura del Proyecto PLMB	39
5.2.2.1.	Características de la Vía Férrea.....	39
5.2.2.2.	Tendido de vía en túnel.....	39
5.2.2.3.	Tendido de vía en viaducto	40
5.2.2.4.	Características del Tendido.....	41
5.2.2.5.	Tendido de vía en Talleres y Cocheras	42
5.2.2.6.	Drenajes	44
5.2.3.	Composición Técnica de la Superestructura del Proyecto SLMB	45
5.2.3.1.	Parámetros geométricos	45
5.2.3.2.	Subsuelo.....	47
5.2.3.3.	Drenaje	47
5.2.3.4.	Transición vía sobre balasto / vía en concreto	49
5.2.4.	Análisis de la Información acerca de la Infraestructura y Superestructura de vía.	49
5.3.	INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA.....	52
5.3.1.	Sistema de Supervisión y Control de Trenes ubicado en el Centro de Control de Operaciones, el Principal y de Respaldo.....	52
5.3.1.1.	Centro de Control de Operaciones del Sistema PLMB.....	54
5.3.1.1.1.	Organización del edificio del PCC.....	56
5.3.1.2.	Propuesta del Puesto de Mando del Sistema Regiotram Occidente.....	57
5.3.1.3.	Puesto Central de Control del Sistema TCV (Tren de Cercanías de Valle del Cauca).....	58
5.3.1.4.	Análisis de la Información para el Centro de Control.....	59
5.3.2.	Sistemas de alimentación de Energía Eléctrica (SER, SET y CTE).	61
5.3.2.1.	Composición Técnica del Sistema de Energía del proyecto Regiotram Occidente por Empresa Férrea Regional.	64
5.3.2.1.1.	Ubicación de las SER en el proyecto	65
5.3.2.2.	Composición técnica del proyecto de la PLMB por la FDN y Metro-Bog	67

5.3.2.2.1.	Consideraciones Generales.....	67
5.3.2.2.2.	Modos Degradados.....	67
5.3.2.2.3.	Arquitectura y distribución de la Alta Tensión.....	67
5.3.2.2.4.	Subestación Receptora (SER)	68
5.3.2.2.5.	Anillos de distribución	68
5.3.2.2.6.	Alimentación Tracción 750V.....	69
5.3.2.3.	Análisis de la Información para el Sistema de Energía.....	69
5.3.3.	Sistema de Señalización y Control de Trenes.....	70
5.3.3.1.	Composición sistema Señalización Proyecto Regiotram de Occidente	72
5.3.3.1.1.	Consideraciones generales.....	72
5.3.3.1.2.	Principios generales.....	73
5.3.3.1.3.	Modo de conducción.....	73
5.3.3.1.4.	Arquitectura del sistema de señalización	74
5.3.3.1.5.	Subsistema de Señalización. Enclavamiento	75
5.3.3.1.6.	Enclavamientos electrónicos.....	76
5.3.3.1.7.	Señales luminosas laterales y señales fijas	77
5.3.3.1.8.	Sistema de detección de la presencia de tren.....	79
5.3.3.1.9.	Sistema de control y mando de accionamientos de aguja.....	79
5.3.3.2.	Composición técnica del Sistema de Señalización para el Proyecto de la PLMB	80
5.3.3.2.1.	Sistema de Señalización y CBTC	80
5.3.3.2.2.	Descripción General Sistema Señalización y Control de Trenes.....	81
5.3.3.3.	Composición técnica del Sistema de Señalización para el Proyecto de la SLMB	84
5.3.3.4.	Análisis de la información. Sistema de Señalización	86
5.3.3.5.	Composición Técnica del Sistema de Puertas de Anden de la PLMB ..	88
5.3.3.5.1.	Generalidades	88
5.3.3.5.2.	Diseño	90
5.3.3.5.3.	Funcionalidades.....	90
5.3.3.6.	Composición Técnica del Sistema de Puertas de Anden en el Proyecto Regiotram Occidente	91
5.3.3.7.	Análisis de la Información respecto a Puertas de Anden o Plataforma.	91

5.3.4.	Sistema de Telecomunicaciones.....	92
5.3.4.1.	Composición Técnica del Sistema de Telecomunicaciones de la PLMB 94	
5.3.4.1.1.	Cronometría.....	95
5.3.4.1.2.	Sistema de gestión de usuarios	96
5.3.4.1.3.	Sistema de telefonía/Interfonía (TEL).....	96
5.3.4.1.4.	Sistema de grabación de voz.....	96
5.3.4.1.5.	Sistema de red de banda ancha (RBA).....	97
5.3.4.1.6.	Sistema de información a pasajeros (SIP)	97
5.3.4.1.7.	Sistema difusión de publicidad (DDP)	98
5.3.4.1.8.	Sistema circuito cerrado de televisión (CCTV)	98
5.3.4.1.9.	Sistema de anuncio a pasajero (SAP).....	99
5.3.4.1.10.	Sistema IHM de comunicaciones (IHM)	100
5.3.4.2.	Análisis de la Información para el Sistema de Telecomunicaciones...	101
5.3.5.	Equipos de Patio Taller.....	102
5.3.5.1.	Equipos de mantenimiento del Patio Taller definidos en el Proyecto Regiotram Occidente.....	103
5.3.5.1.1.	Equipos de mantenimiento de la red.....	109
5.3.5.2.	Análisis de la información para Equipos de Patio Taller	113
5.3.6.	Operaciones Ferroviarias.....	114
5.3.6.1.	Plan Operacional Preliminar de la PLMB	116
5.3.6.2.	Análisis del Plan Operacional.....	119
5.4.	SISTEMAS NO FERROVIARIOS.....	121
5.4.1.	Sistemas no Ferroviarios de otros Sistemas de Transporte Férreo	122
5.4.2.	Análisis Información Sistemas No Ferroviarios	122
5.5.	INSTALACIONES FERROVIARIAS	122
5.6.	ESTACIONES.....	124
5.6.1.	Estaciones de la PLMB	126
5.6.1.1.	Características de las Estaciones del Metro de Bogotá.....	126
5.6.1.2.	Tipología de Estaciones.....	127
5.6.1.3.	Instalaciones de las estaciones.....	128
5.6.2.	Análisis de la Información con Referencia a Estaciones.....	128
5.7.	MATERIAL RODANTE.....	129

5.7.1.	Material Rodante del Sistema de la PLMB	133
5.7.1.1.	Generalidades.....	133
5.7.1.2.	Características básicas del Material Rodante.....	134
5.7.1.3.	Tensión de alimentación	135
5.7.1.4.	Modo de operación	136
5.7.1.5.	Configuración del tren	136
5.7.1.6.	Dimensiones de los coches.....	136
5.7.1.7.	Galibo del tren.....	137
5.7.2.	Material Rodante propuesto para el Sistema Regiotram Occidente	138
5.7.3.	Análisis de la Información para el Material Rodante.....	139
5.8.	PASOS A NIVEL.....	140
5.8.1.	Normativa	140
5.8.2.	Composición Técnica del Sistema de Pasos a Nivel e Intersecciones del Sistema Regiotram Occidente.....	140
5.8.3.	Análisis de la Información respecto a los Pasos A Nivel.....	141
6.	EMPRESAS CONSULTADAS.....	142
7.	VISITA DE CAMPO	143
8.	CONCLUSIONES	145

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Croquis esquemático de sección gran-U	20
Ilustración 2 Sección transversal a nivel de estación en la Av. Caracas entre la Calle 26 y la Calle 72.....	21
Ilustración 3 Sección funcional de viaducto gran-U tipo.....	22
Ilustración 4 Sección típica tramo Bitunel	23
Ilustración 5 Detalle de túnel vía sencilla	24
Ilustración 6 Tramo de túnel entre pantallas en trinchera abierta.....	25
Ilustración 7 Sección tipo viaducto en Recta	26
Ilustración 8 Gálibos Sistema Metro Elevado	27
Ilustración 9 Flujo de ventilación en función de tipos de operación.....	29
Ilustración 10 Sección tipo de vía en placa.....	33
Ilustración 11 Ejemplo de elementos modulares en caucho o en concreto.....	35
Ilustración 12 Principio de cruce Vial por la infraestructura ferroviaria con modificación del tipo de vía: placa / balasto.....	36
Ilustración 13 Sección tipo de vía de balasto clásico	37
Ilustración 14 Sección tipo de vía de balasto enmarcado	37
Ilustración 15 Características de la vía férrea.....	39
Ilustración 16 Tendido de vía Bloques Embebidos	40
Ilustración 17 Tendido de vía en placa, fijación directa sobre el plinto.....	41
Ilustración 18 Tendido de vía en balasto para Patios de la PLMB	43
Ilustración 19 Parámetros geométricos en planta	45
Ilustración 20 Estructura de vía en concreto.....	46
Ilustración 21 Estructura de vía en balasto	46
Ilustración 22 Vía única sobre balasto en el patio-taller	47
Ilustración 23 Vía doble sobre balasto en línea	47
Ilustración 24 Esquema de Acometidas en Media Tensión.....	65
Ilustración 25 Especificación general de las SER.....	66
Ilustración 26 Arquitectura del Sistema de Señalización	75
Ilustración 27 Esquema del Sistema de Señalización y Control de Trenes.....	83
Ilustración 28 Esquema del sistema CBTC tipo Cantón Móvil	83
Ilustración 29 Criterios Operativos de la Línea 2	86
Ilustración 30 Partes principales de las puertas de Andén.....	90
Ilustración 31 Máquina de Lavado.....	103
Ilustración 32 Sistema de recarga de arena	103
Ilustración 33 Pasarela de vía con Foso.....	104
Ilustración 34 Torno de foso para ruedas	104
Ilustración 35 Carro de arrastre autopulsado.....	105
Ilustración 36 Puente grúa.....	105

Ilustración 37 Puente-grúa para las vías de levante y el taller mecánico	106
Ilustración 38 Cabina de Pintura.....	106
Ilustración 39 Sistema de Elevación	107
Ilustración 40 Plataforma de Elevación de Bogies.....	107
Ilustración 41 Prensa de Calar y Descalar ruedas.....	108
Ilustración 42 Prensa de reglaje de bogies.....	108
Ilustración 43 Instalación de lavado de bogies	109
Ilustración 44 Dresina.....	109
Ilustración 45 Equipo de Encarrilamiento	110
Ilustración 46 Vehículo Bivial.....	110
Ilustración 47 Vehículo de medición de parámetros de vía.....	111
Ilustración 48 Depósito de Hidrocarburos.....	111
Ilustración 49 Control de parámetros de rodadura.....	112
Ilustración 50 Esmeriladora de Carril.....	112
Ilustración 51 Plataformas auto elevables	113
Ilustración 52 Software para el análisis de explotación de las líneas ferroviarias en función de trazado, material rodante y tipo de señalización. Permite realizar las simulaciones de marchas y análisis de capacidad.....	120
Ilustración 53 RAILGETAWAY de Ardanuy Ingeniería.....	120
Ilustración 54 Representación de una Estación Simple	127
Ilustración 55 Requisitos y criterios operativos del material rodante para la operación de la PLMB	134
Ilustración 56 Carga de referencia POP (6 pasajeros/m ²) – Tren de 6 coches	135
Ilustración 57 Dimensione de largo de los coches y ancho del tren.....	137

INTRODUCCIÓN

Este documento contiene la recopilación, revisión, verificación y análisis de información secundaria para el proyecto que tiene como objeto “ELABORAR LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FERROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ – CUNDINAMARCA”, cumpliendo así con el entregable correspondiente según Anexo Técnico No 1 donde se describe

“[e]l alcance se enfoca a la ejecución de actividades encaminadas a la recolección de información secundaria y primaria, de ser necesario, para hacer la caracterización desde las diferentes disciplinas de orden técnico, conducente a evaluar las alternativas de trazado del corredor férreo del sur”

Como referencia básica para el desarrollo del presente informe se toma lo expuesto en los documentos suministrados (Estudios previos IDU-CMA-SGDU-061-2021 y Anexo Técnico No 1), donde se mencionan los diferentes procesos previos realizados, que contienen los antecedentes para el actual estudio.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Recopilar y analizar la información existente de estudios previos del Corredor Férreo del Sur, con el fin de verificar su utilidad, pertinencia y aplicación para el desarrollo de diferentes disciplinas de orden técnico y operacional, que componen el área de Ingeniería Ferroviaria, necesarios para proyectar las alternativas a la infraestructura del Corredor Férreo del Sur.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar la normativa Nacional e Internacional vigente aplicable para cada uno de los Sistemas de la Ingeniería Ferroviaria. La normativa seleccionada y presentada en este documento es objeto de referencia en etapas posteriores, una vez se madure la propuesta en las diferentes áreas que hacen parte de este componente.
- Realizar levantamiento de información secundaria de las instalaciones existentes en Colombia y la Región de Cundinamarca para cada uno de los sistemas. Se evaluarán parámetros técnicos de sistemas férreos como: Regiotram de Occidente, La Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) y el Sistema de Tren de Cercanías del Valle de Cali (TCV). Se realiza un análisis de la información recopilada con el objetivo de utilizar los datos aprovechables para el prediseño de la propuesta del Corredor Férreo del Sur. De encontrar deficiencias o falencias se complementará la información encontrada en otros sistemas a nivel internacional.

- Se definen tecnologías de punta de acuerdo con el estado del arte, tanto para el material rodante como para los sistemas ferroviarios, los equipos de patio Taller y los equipos electromecánicos a ser instalados en las estaciones, además que sean tecnologías probadas, debidamente normalizadas, maduras y verificables en las explotaciones ferroviarias a nivel mundial.
- Identificación y Conformación de un listado de Empresas de servicios públicos y/u operadores ubicados en la zona de influencia del Proyecto, determinando sus roles y responsabilidades de cada una, para realizar las consultas de información técnica y antecedentes, necesarios para el desarrollo del proyecto.

2. DESCRIPCIÓN DEL CONTRATO

Enmarcados en el contexto del Plan de Desarrollo “Un nuevo contrato social y ambiental para la Bogotá del siglo XXI”, adoptado mediante Acuerdo 761 del 11 de junio de 2020, el cual contempla en su artículo 15, el Programa 50. Red de metros que consiste en: “Definir la red de metros como el eje estructurador de la movilidad y de transporte de pasajeros en la ciudad, mediante el avance del ciclo de vida del proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá PLMB – Tramo 1 y realizar las actividades, estudios técnicos y contratar la ejecución de la Fase 2 de la PLMB. Realizar las intervenciones en espacio público para la conexión del Regiotram de Occidente con el sistema de transporte público de la ciudad. Apoyar con recursos técnicos, financieros y administrativos la estructuración de todos los proyectos férreos que permiten la integración regional, entre estos los proyectos Regiotram del Norte y Regiotram del sur”, el IDU, adelantó la contratación de LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FÉRROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ – CUNDINAMARCA.

EL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU mediante RESOLUCIÓN NÚMERO 007702 DE 2021 DEL VEINTE (20) DEL MES DE DICIEMBRE DE 2021, adjudicó el proceso de Concurso de Méritos Abierto No. IDU-CMA-SGDU-061-2021, al proponente CONSORCIO ARDANUY COLOMBIA, integrado por ARDANUY SUCURSAL COLOMBIA con NIT 900.517.810-4 (50% de participación), ARDANUY COLOMBIA SAS con NIT 900.616.686-1 (50% de participación), por un valor de CINCO MIL SETECIENTOS OCHENTA Y NUEVE MILLONES SETECIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL CUATROCIENTOS ONCE PESOS M/CTE (5.789.756.411,00), incluido IVA y demás impuestos y costos directos e indirectos a que haya lugar.

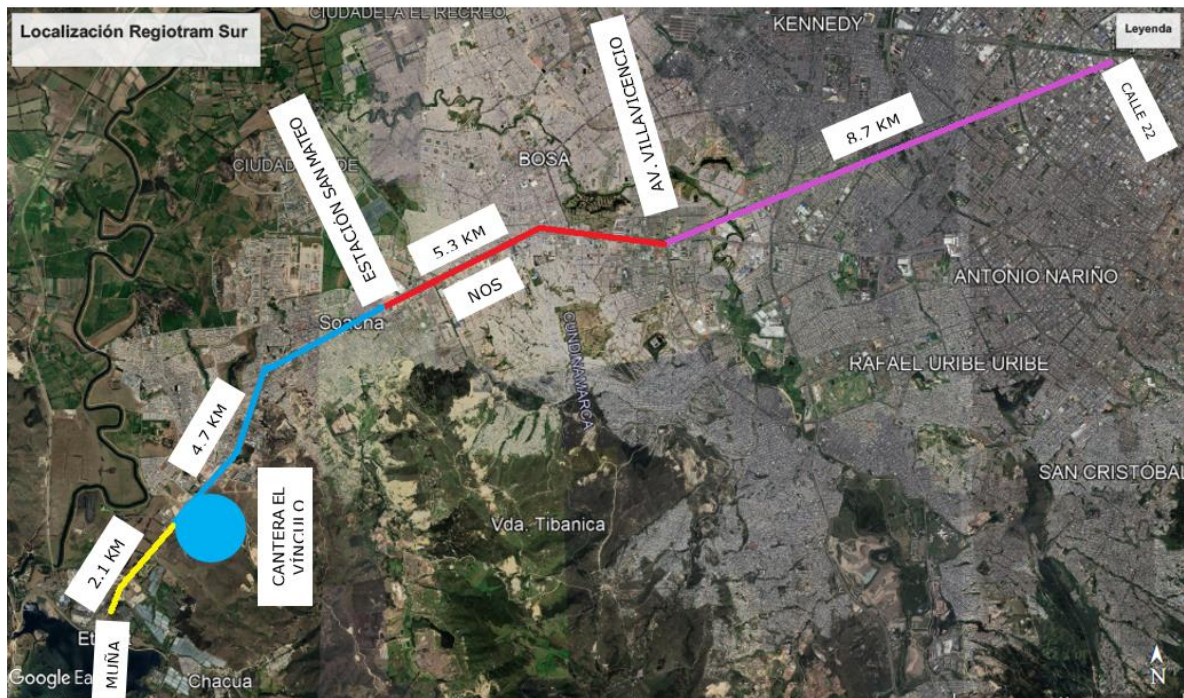
3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto por desarrollar se localiza en la región Bogotá – Cundinamarca, y corresponde al recorrido del Corredor Férreo del Sur, propiedad del Instituto Nacional de Vías, y cuya titularidad señala que el TRAMO FERREO BOGOTÁ – EL SALTO (CORREDOR DEL SUR)

fue transferido por la Empresa Colombiana de Vías Férreas – FERROVÍAS al Instituto Nacional de Vías – INVIAS, mediante la Escritura Pública No. 2380 otorgada el 11 de septiembre de 2007 en la Notaría 59 del Círculo de Bogotá.

Este proyecto por sus características impactará de manera positiva la población asentada en el corredor de influencia Bogotá – Sur, de tal manera que el Corredor prevé con 15 estaciones a extender en la línea hasta el sur de la ciudad, está previsto entre las diferentes alternativas incluir el Municipio de Soacha, donde existe una zona de industria pesada y de equipamientos importantes.

Figura 1. Localización del Corredor Férreo del Sur (Alternativa 1)



Fuente: Anexo 1. Anexo Técnico -Elaboración DTP-IDU

El proyecto del Corredor Férreo del Sur, deberá conllevar al mejoramiento de las condiciones urbanas de las áreas aledañas al trazado ferroviario y se prevé en su alternativa 1, que podrá tener 11 estaciones dentro del perímetro urbano de Bogotá y 4 estaciones en el área de la sabana sur de Bogotá, completando una longitud cercana a los 18 kilómetros de extensión, en cinco localidades del distrito:

- Los Mártires, Puente Aranda, Kennedy, Ciudad Bolívar y Bosa

Igualmente se contextualiza la ubicación del proyecto de manera general dando del esquema general de Regiotram y su integración con otros proyectos de naturaleza similar.

Figura 2. Esquema General – Sistemas Regiotram



4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Plan Maestro Ferroviario en Colombia
- Manual de Normatividad Férrea de Colombia
- Resumen Ejecutivo de la Primera Línea del Metro de Bogotá
- Tramo 1 de la primera línea del Metro para Bogotá – PLMB hoja de términos
- Normativa ADIF: <http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf>
- PROYECTO: ESTUDIOS Y DISEÑOS A NIVEL DE FACTIBILIDAD Y ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA del Sistema de Transporte Férreo Intermunicipal del Valle del Cauca (TCV) en el Corredor Priorizado Cali (Estación Central) – Jamundí (CPTCV).

- PROYECTO: CONSULTORÍA ESPECIALIZADA PARA LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO REGIOTRAM DE OCCIDENTE
- Contrato IDU 849 - 2013: Diseños para la Primera Línea del Metro en el Marco del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP – para la Ciudad de Bogotá.
- Estudios a nivel de prefactibilidad de la Línea 2 del Metro de Bogotá (SLMB)
- En una próxima Etapa del proyecto se considerarán datos de importancia del Sistema Metro de la 80 de Medellín.

5. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para iniciar esta Etapa se realiza revisión del Plan Maestro Ferroviario que fue creado como una estrategia para la reactivación y consolidación de la operación ferroviaria en el país.

Se presenta un extracto de introducción del Plan Maestro Ferroviario donde se plantea la necesidad del impulso al transporte férreo de pasajeros *“Sobre los sistemas ferroviarios de pasajeros, este Plan, si bien está enfocado principalmente al transporte de carga, considera las disposiciones generales y las estrategias clave de los sistemas de pasajeros; reconoce las grandes apuestas de la Nación y de las regiones por migrar hacia sistemas de transporte ferroviarios en los ámbitos urbanos y suburbanos para mejorar las condiciones de transporte público y contribuir a la disminución de externalidades negativas como la congestión vehicular, la siniestralidad vial y la contaminación ambiental, al migrar en gran parte a sistemas más limpios y de bajas emisiones (...) Si bien el PMF se ha concentrado en la reactivación del modo hacia el transporte de carga, el Plan también estima relevante la evaluación y materialización de proyectos de transporte de pasajeros. En este sentido, el Gobierno nacional considerará la identificación y desarrollo de proyectos que estén alineados con los parámetros del PMF y del Plan Nacional de Desarrollo vigente y que demuestren su viabilidad técnica, económica y social, a través de estudios de factibilidad efectuados de acuerdo con las metodologías establecidas para este propósito”.*

Haciendo énfasis en los proyectos en ejecución de la Región Cundinamarca y los más cercanos a la propuesta del Corredor Férreo del Sur, entre los más destacados en la actualidad se encuentran los siguientes:

- Primera Línea del Metro de Bogotá
- Segunda Línea del Metro de Bogotá, estudios de prefactibilidad
- Sistema RegioTram de Occidente

La Primera Línea de Metro de Bogotá. Este proyecto fue contratado en 2019 bajo el esquema de concesión integral por la Empresa Metro de Bogotá, entidad de orden distrital y a la fecha, cuenta con cofinanciación de la Nación. El proyecto tiene una longitud en su componente férreo de 23,96 km y 16 estaciones, 10 de las cuales estarán integradas con el sistema Transmilenio.

La SLMB, presenta una infraestructura mixta mediante la incorporación de dos (2) tipologías de metro: subterráneo y elevado, con una longitud de 15.8 km aproximadamente. Esta línea, comprende además una cola de maniobras en su extremo oriental, 11 estaciones y un patio taller, discurriendo por los corredores de la Calle 72, Avenida Ciudad de Cali, reserva vial ALO y la extensión de la Avenida Transversal de Suba.

El Punto Kilométrico 0+000 se localiza en la Calle 72 a 60 m al oriente de la Carrera 7, donde se contempla una cola de maniobras en tipología subterránea, la cual alberga la zona para maniobras de retorno con sus respectivos cambiavías y una zona para parqueo con capacidad para albergar tres trenes, todo ello con el fin de permitir una adecuada operación de la SLMB; después de la cola de maniobras, encontramos la estación No. 1 ubicada en la Calle 72 entre las abscisas K0+466 a la K0+616, estación que servirá de integración con los modos de transporte masivo TransMilenio (estación calle 72) y la Primera Línea de Metro de Bogotá PLMB (Estación 16)

En el documento de prefactibilidad de la Segunda Línea del Metro de Bogotá se expone y se desarrollan los criterios geométricos de trazado. En la elección de los criterios, se han tenido en cuenta que las condiciones de operación de la futura línea sean óptimas, con una buena integración del trazado con la topografía e infraestructura existente, al igual que la adecuada armonización del proyecto con la infraestructura proyectada por la PLMB, como lo es el deprimido de la Av. Caracas con Calle 72, estación No. 16 y cimentación del viaducto, buscando una solución técnica a estas restricciones generadas por la Línea 1, considerando que la premisa de diseño de la línea 2 es no interferir con las estructuras proyectadas.

RegioTram de Occidente. Con una extensión de 41 kilómetros, este proyecto fue contratado en 2020 bajo el esquema de concesión integral por la Empresa Férrea Regional, entidad de orden departamental. Este proyecto cuenta con cofinanciación de la Nación. El proyecto contempla una longitud de 39,6 km y 17 estaciones.

Para el desarrollo de la RAI se evaluará particularmente cada uno de los Sistemas y Subsistemas que se componen en la Infraestructura Ferroviaria, en base al cumplimiento de los objetivos específicos, se indagará y analizarán productos en relación a los proyectos mencionados existiendo relacionándolos con cada componente, debido a que en la actualidad no existen productos legalmente aprobados propios del Corredor Férreo del Sur.

La estructura de este apartado será organizada de la siguiente manera:

- Infraestructura de vía
- Superestructura de la vía
- Infraestructura Ferroviaria
 - Sistema de Supervisión y Control de Trenes ubicado en el Centro de Control de Operaciones, el Principal y de Respaldo.
 - Sistemas de alimentación de Energía Eléctrica (SER, SET y CTE).
 - Sistema de Señalización y Control de Trenes.
 - Sistema de Puertas de Andén o Plataforma.
 - Sistema de Puertas de Andén o Plataforma.

- Sistema de Telecomunicaciones.
- Equipos de Patio Taller
- Operaciones Ferroviarias
- Sistemas No Ferroviarios
- Instalaciones Ferroviarias
- Estaciones
- Material Rodante
- Pasos a Nivel
- Integración del Sistema Ferroviario

5.1. INFRAESTRUCTURA DE VÍA

Se presenta la normativa Nacional e Internacional vigente aplicable para la Infraestructura de vía.

Es importante resaltar que para este apartado se tendrán puntos en común con las disciplinas de Geotecnia y Diseño geométrico de la vía, dicho esto se presentan las principales normas a aplicar:

- POT vigente, Decreto No. 555 de 2021, “por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá”
- Manual de Ingeniería Ferroviaria de American Railway Engineering and Maintenance-Of-Way Association (AREMA) del 2019
- Plan de Ordenamiento Territorial vigente del Municipio de Soacha y la Ciudad de Bogotá.
- Ley 146 de 1963 (31 de diciembre de 1963) - Precisó los criterios para la construcción de vías con el fin de evitar la existencia de pasos a nivel sobre vías férreas.
- Decreto 327 de octubre 11 de 2004 (o la norma que lo sustituya), por el cual se reglamenta el Tratamiento de Desarrollo Urbanístico en el Distrito Capital.
- Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS 2009.
- Decreto No. 798 (11 marzo de 2010) – Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Estándares para Carril para zonas y predios urbanizables no urbanizados.
- Resolución No.3258 del 2018 Ministerio de Transporte – Por la cual se adopta la Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas.
- Decreto 308 de 2018 de Secretaría Distrital de Planeación. Por medio del cual se adopta la Cartilla de Andenes de Bogotá D.C. y se dictan otras disposiciones.
- Norma técnica ADIF- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. Normas Adif Plataforma (NAP), Normas Feve (NFI) e Instrucciones Generales de Proyectos (IGP)

El Plan de Ordenamiento Territorial – POT, establece los lineamientos generales para el ordenamiento, regula aspectos asociados con la totalidad del territorio municipal o distrital,

y establece su modelo de ocupación (estructuras urbanas, rural y urbano-rural, y la visión regional) y que por lo tanto se convierte en eje estructurante y que aporta los contenidos esenciales de hacia a donde apunta el territorio, considerándose prioritariamente los proyectos que generen beneficios a gran escala para la población, como en este caso, la implementación de un sistema de transporte masivo en la Bogotá Región.

Las Especificaciones AREMA (American Railway Engineering and Maintenance – Of - Way Association) para la Ingeniería Ferroviaria, contiene principios, datos, especificaciones, planos y economía pertenecientes a la ingeniería, diseño y construcción de la planta fija de vías férreas (excepto señalización y comunicaciones) y servicios e instalaciones afines. Siendo Normas tan generales, donde no se cuenta aun con una propuesta específica para esta etapa del proyecto, no se podrán indicar exactamente los numerales que para la Infraestructura de la vía puedan aplicarse. Por lo tanto, a medida que se profundice en la alternativa seleccionada podrán citarse normas específicas.

5.1.1. Composición de Infraestructura de vía del Sistema Regiotram Occidente y la PLMB

El Sistema Regiotram Occidente proyecta un ramal principal conformado por una plataforma con vía doble, a lo largo del cual se implantan un total de 18 estaciones, entre la Estación de Calle 26 de Bogotá, donde en el futuro intercambiará pasajeros con la primera línea de metro de la ciudad, y la Estación de “Facatativá-Calle 9”, en la localidad del mismo nombre.

En las zonas de vía tranviaria, la estructura de vía tendrá 2 capas de hormigón (hormigón de fundación y hormigón de resistencia mecánica), compatible con suelos de capacidad portante bastante baja.

Para la vía en balasto, el sustrato tiene que estar limpio y se requiere una plataforma de tipo QS3 (segundo la clasificación UIC). Zonas especiales (curvas pequeñas, trazado fuera de la plataforma ferroviaria existente).

En cuanto al proyecto de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB) consiste en un sistema pesado elevado en su totalidad, cuyo principal objetivo es responder a la creciente demanda de movilidad de pasajeros de la ciudad otorgando un servicio de calidad a los habitantes de la capital colombiana.

El tramo 1 de la Primera Línea de Metro de Bogotá tendrá una longitud aproximada de 23.86 kilómetros, la cual será elevada y cruzará las localidades de Puente Aranda, Antonio Nariño, Mártires, Santa Fe, Teusaquillo, Chapinero y Barrios Unidos.

La tipología de viaducto gran-U fue recomendada por el Consorcio Metro-Bog. Dicha solución fue la definida en el marco de los estudios llevados a cabo en la fase precedente por SYSTRA durante la Subfase 1 de la Fase 2 del Convenio 1880 suscrito entre IDU y la FDN en 2016. El viaducto en gran-U es un puente segmental con un tablero prefabricado

constituido por segmentos o dovelas de sección completa que se soporta mediante pilas de columna circular acabadas en un capitel de aproximadamente la misma anchura que la base de la sección gran-U de apoyo del tablero. La sección transversal permite integrar la totalidad de componentes del sistema ferroviario en su interior. El ancho de vía es el internacional o UIC, con 1435 mm.

Se trazan diferentes contornos dinámicos de los trenes para diferentes configuraciones de trazado en planta, y en función del peralte transversal asociado a cada una de ellas se fija la separación entre ejes de vía y el ancho de la sección de la viga gran U para diferentes configuraciones del trazado en planta. Se retienen los dos siguientes valores envolventes de diferentes situaciones:

- 9.45 m para trazado recto en planta o curvas con radio mayor o igual de 900 m.
- 9.90 m para curvas con radio menor de 900 m.

El viaducto elevado es una sucesión de vanos isostáticos simplemente apoyados sobre las pilas, con luces que van hasta los 35 m en tramos rectos, teniendo que reducirse a 30 m en curvas de radio menor de 300 m por motivos de índole estructural.

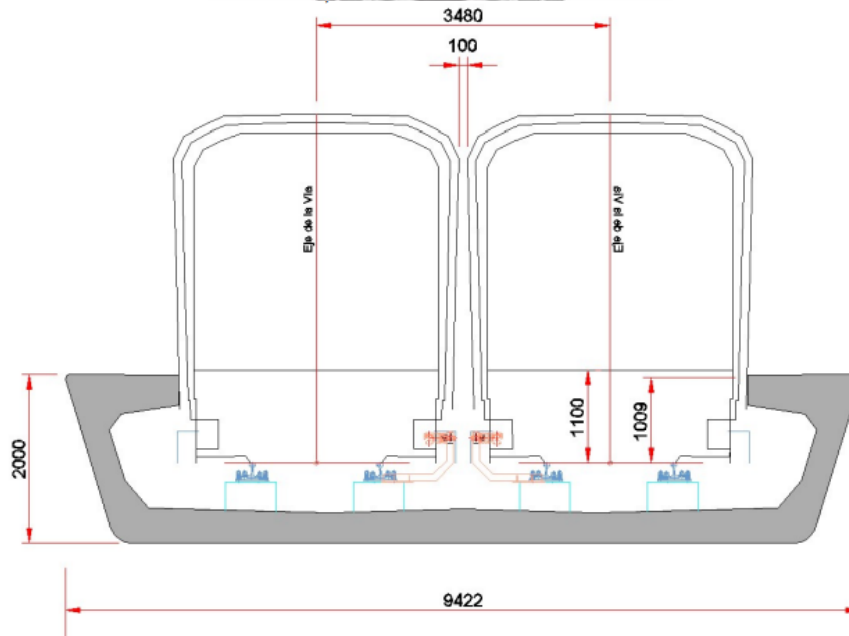


Ilustración 1 Croquis esquemático de sección gran-U

Fuente: Consorcio Metro-Bog

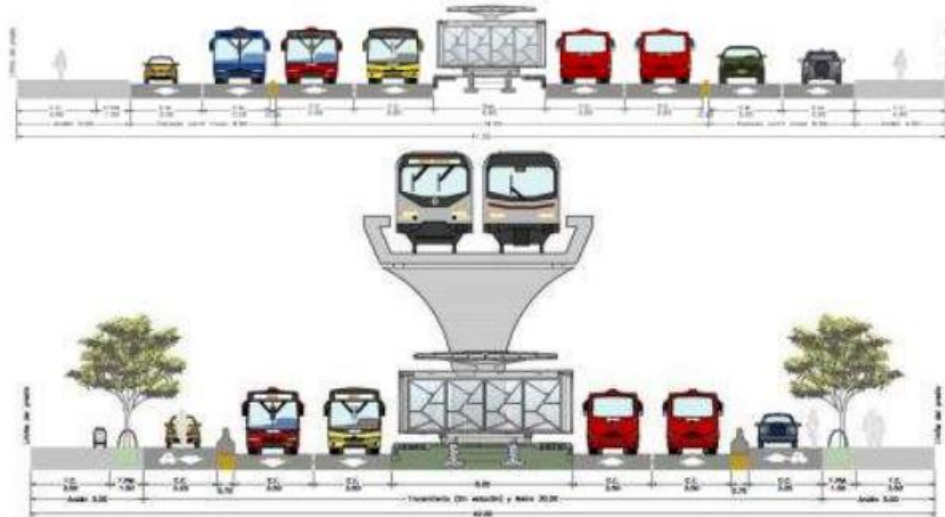


Ilustración 2 Sección transversal a nivel de estación en la Av. Caracas entre la Calle 26 y la Calle 72.

Fuente: Proyecto TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO PARA BOGOTÁ – PLMB por Consorcio Metro de Bogotá y La FDN. Imagen representativa, puede variar según la zona.

El viaducto gran-U se soporta mediante pilas de columna circular, acabadas en un capitel de aproximadamente la misma anchura que la base de la sección gran-U de apoyo del tablero. Cuando la traza del viaducto elevado se desvía de la mediana central de las avenidas y cruza las vías reservadas al tráfico con un gran esviaje, se recurre a apoyos especiales tipo pórtico, o a pilas con capitel excéntrico. Dada la magnitud de las fuerzas transmitidas a la subestructura, y la naturaleza de los suelos de Bogotá, las fundaciones del viaducto elevado deben ser profundas.

Almas

Cumplen las funciones siguientes:

- Funcionan como barrera protectora y son diseñadas para resistir el impacto de los trenes. Actúan como pantalla anti-ruido contribuyendo a disminuir las emisiones sonoras al paso del tren. Pueden incorporar paneles absorbentes para mejorar el comportamiento aislante frente al ruido.
- En su lado interno se disponen las bandejas de cableado para canalizar los sistemas de señalización, iluminación y telecomunicaciones.
- Adicionalmente, la sección gran-U del viaducto elevado para la PLMB se utilizará para transportar canalizaciones de terceros, en particular cables de fibra óptica para la transmisión de datos.

5.1.1.1. Losa inferior

La losa inferior permite alojar:

- Vías, rieles y plintos
- Sistema de alimentación eléctrica mediante tercer riel

A veces se incorpora un dispositivo anti-descarrilamiento a nivel de la vía, aunque con la tipología de la sección en U la posible caída del tren del viaducto está automáticamente impedido por las almas. A continuación, se muestra una sección funcional tipo de un viaducto gran-U para metro, con todos sus componentes.

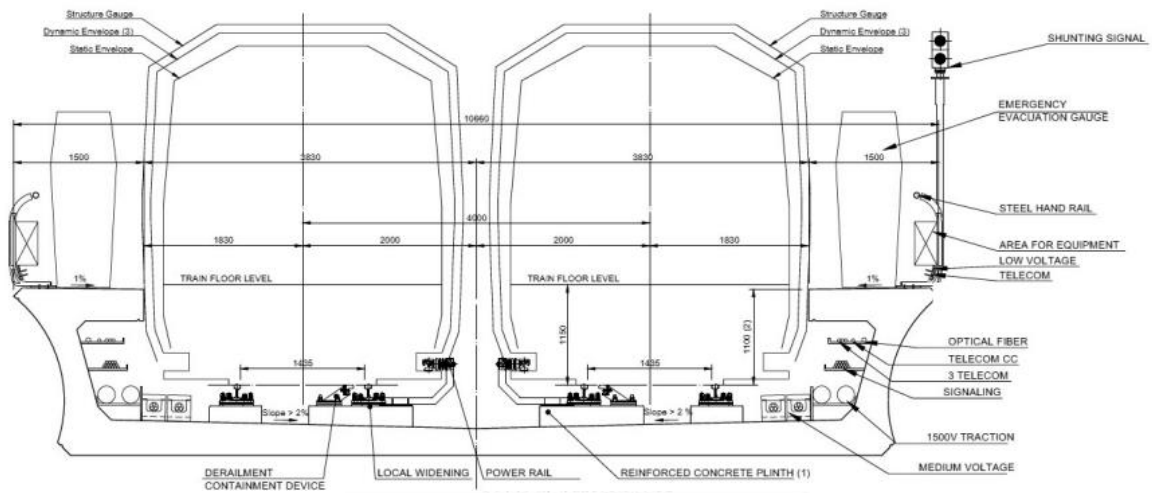


Ilustración 3 Sección funcional de viaducto gran-U tipo

Fuente: Consorcio Metro-Bog

5.1.2. Composición de la Infraestructura de vía de la Segunda Línea del Metro de Bogotá – SLMB

5.1.2.1. Secciones de vía en Túnel

Las secciones tipo empleadas en el diseño de la SLMB son las siguientes:

- Tramo en Bi-Túnel con Tunnel Boring Machine - TBM

En los tramos de línea proyectada con TBM se considera dos túneles, uno para cada vía, con un radio interior de 3.085 m y un espesor de pared de 0.425 m (se prevé que 0.3 m corresponden al espesor de los elementos prefabricados y el resto en recubrimientos y

acabados internos de los túneles), para un diámetro de estructura aproximado de 7m, con una separación de 7m entre caras externas de los tubos.

La profundidad a la que se encuentra cada túnel es de 7m al lomo de la estructura (1 vez el diámetro del túnel) y 13m a la cota riel, que corresponde a una vez el diámetro más el posicionamiento de los rieles dentro del túnel para garantizar el tránsito del material rodante y el espacio para gálibos verticales, láminas de aire y los equipos necesarios para un proyecto metro. Las cotas señaladas se miden desde la rasante existente y/o proyectada por proyectos en desarrollo.

Los 7m de recubrimiento de túnel, corresponden a una vez su diámetro, para garantizar que el terreno presente un comportamiento estable durante la construcción con TBM; en todo caso, estas profundidades de recubrimiento deberán ser detalladas en etapas futuras basados en información proveniente de exploraciones geotecnias especializadas. De la misma manera, la cota riel se encuentra a una profundidad.

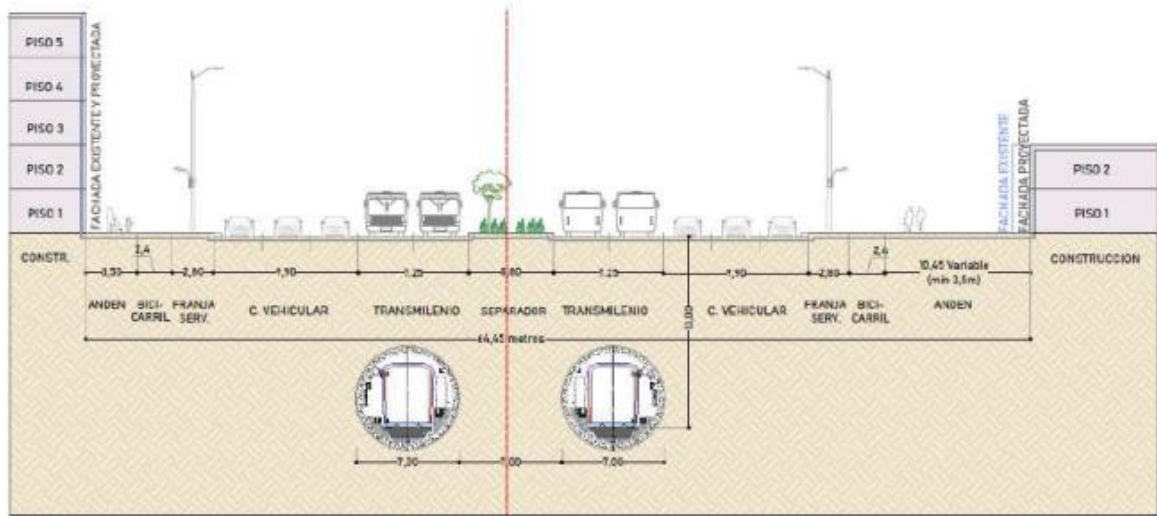
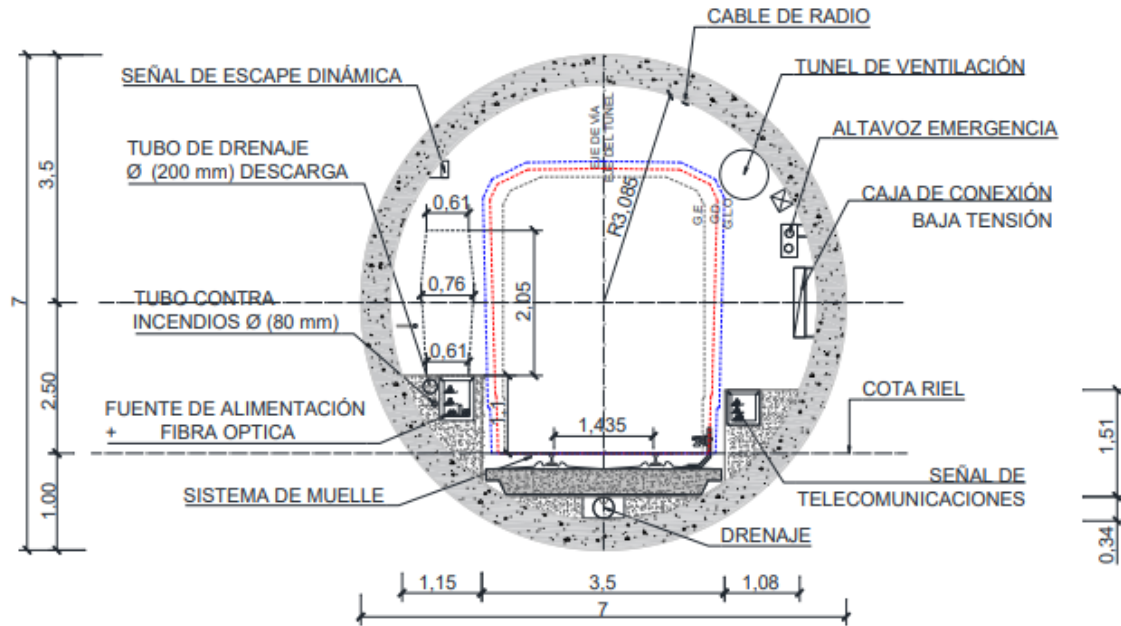


Ilustración 4 Sección típica tramo Bitúnel

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

El túnel está dotado con todas las instalaciones necesarias para su buen funcionamiento, instalaciones para evacuación y protección contra incendios, ventilación, instalación eléctrica, alumbrado, entre otras. Se construirán salidas de emergencias entre las estaciones a lo largo de toda la línea férrea para conseguir una segura evacuación de las personas.



SECCIÓN TIPO BI-TUNEL RECTA:

NOTAS:

- G.E. (GÁLIBO ESTÁTICO)
- G.D. (GÁLIBO DINÁMICO)
- G.L.O. (GÁLIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

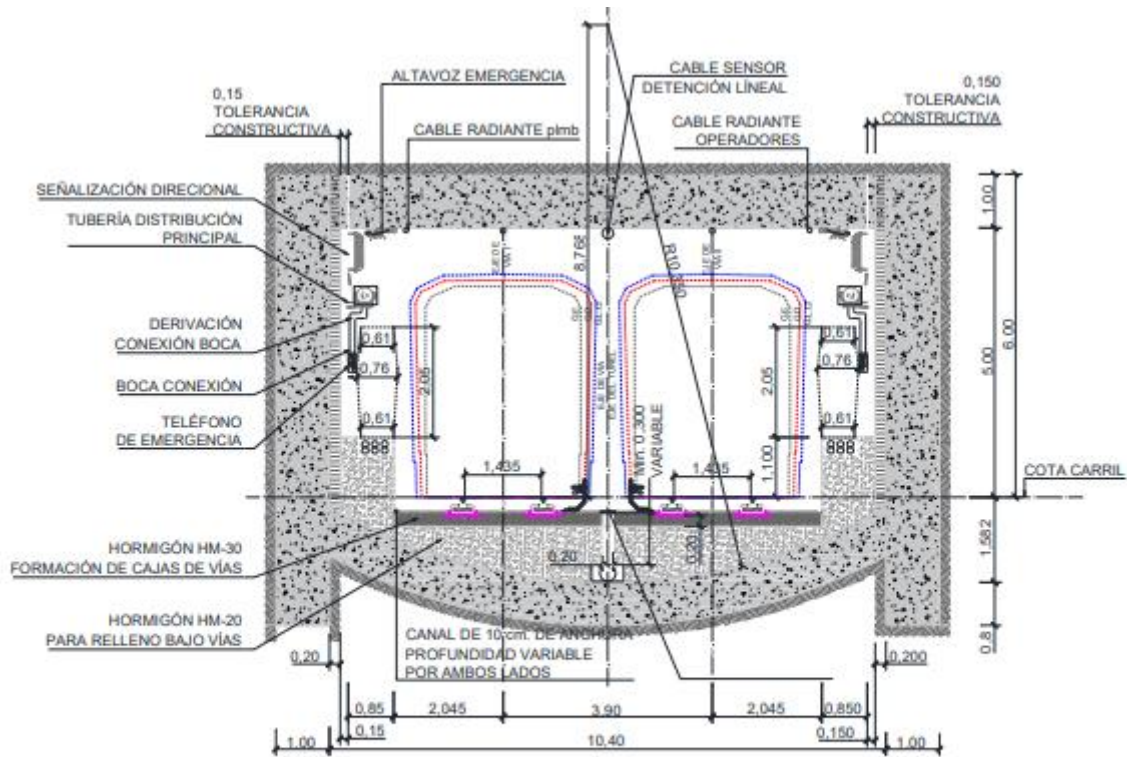
Ilustración 5 Detalle de túnel vía sencilla

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

Para el drenaje del túnel se proyecta un ducto longitudinal que recibirá los aportes de los drenajes transversales. En las estaciones, salidas de emergencia o puntos bajos del trazado vertical se disponen sistemas de bombas para evacuar el agua al sistema de alcantarillado existente en la ciudad.

5.1.2.2. Tramo en túnel entre pantallas

En los tramos de línea proyectada con pantallas se considera un único túnel para doble vía, el cual aplica para el tramo de túnel sobre el corredor de la ALO; así como en la cola de maniobras y sector entre estación No. 1 y deprimido proyectado de la PLMB. El ancho de la sección será de 10.4 m y una cota riel de 6 m respecto al nivel de terreno existente, conservando un gálibo vertical de 5m en el tramo de la ALO y en la cola de maniobra la cota riel se desarrolla a una profundidad que varía desde 23m y 38m de profundidad respecto al terreno existente.



SECCIÓN TIPO TUNEL ENTRE PANTALLAS RECTA:

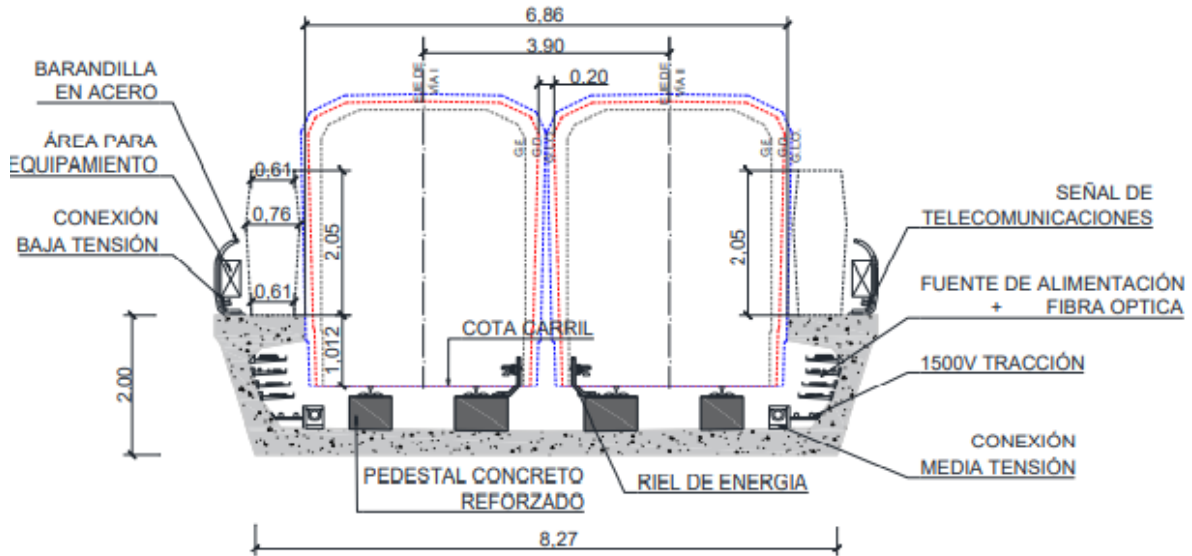
- NOTAS:
 - G.E. (GALIBO ESTÁTICO)
 - G.D. (GALIBO DINÁMICO)
 - G.L.O. (GALIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Ilustración 6 Tramo de túnel entre pantallas en trinchera abierta

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

5.1.2.3. Tramo en viaducto

En tramos con línea proyectada en viaducto se considera una estructura elevada de tipo Gran-U para doble vía, con un ancho de tablero de 10 m para trazados rectos.



SECCIÓN TIPO VIADUCTO RECTA:

NOTAS:

- G.E. (GÁLIBO ESTÁTICO)
- G.D. (GÁLIBO DINÁMICO)
- G.L.O. (GÁLIBO LIBRE DE OBSTÁCULO)

Ilustración 7 Sección tipo viaducto en Recta

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

En el tramo elevado, se contempla una cota riel de 9m sobre el nivel de terreno existente, garantizando un gálibo vertical de 5.50m para el tráfico automotor que transita bajo la estructura metro.

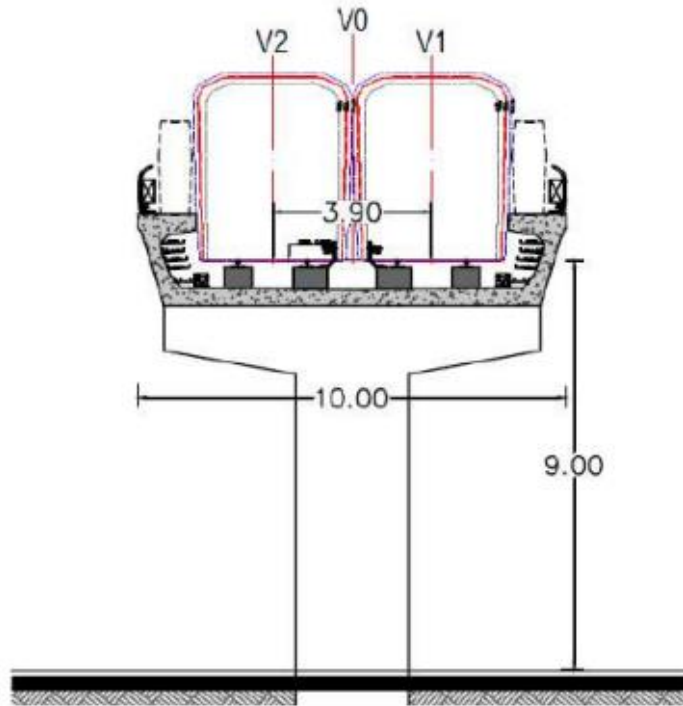


Ilustración 8 Gálibos Sistema Metro Elevado

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

5.1.2.4. Ventilación de túnel

La ventilación del túnel se dimensionará para los casos de operación normal, operación degradada, así como evacuación de emergencia (sin o con incendio). La operación en bi-tubo tendrá ventilación independiente.

De forma preliminar, se considera un sistema con ventiladores de impulsión y extracción (push pull) debido a que ofrece una operación más flexible en su uso en comparación con ventiladores de impulsión solamente.

La ventilación del túnel se ubicará en ambos extremos de las estaciones subterráneas para ventilar el tramo de túnel colindante.

Se debe hacer diferencia en la ventilación de túnel bi-tubo (entre estaciones N° 1 a 9) y el túnel en trinchera cubierta (estaciones N° 9 y 10).

Para la ventilación de la cola de maniobras al oriente de la Estación N° 1, se contará con una ventilación específica desde el final de la cola de maniobras (pozo o a través de un nivel intermedio de la estructura construida en trinchera cubierta).

La ventilación y el aire acondicionado en estaciones será independiente de la ventilación de túneles.

5.1.2.5. Ventilación Bi Túnel

En operación normal, la ventilación direccional será en el sentido de la marcha de los trenes. La entrada de aire fresco será por una estación y la salida por la siguiente. Según la distancia de recorrido se podrá considerar la implantación de pozos de ventilación para minimizar el efecto pistón ocasionado por los trenes.

En situación de emergencia, un túnel será la vía de escape y lugar seguro para el otro túnel. En este caso se reforzará la ventilación en el túnel no afectado, generando una ligera sobrepresión.

En el túnel sin incidencia, la dirección del flujo de aire podrá ser contraria a la de operación normal para guiar a las personas a la estación o salida de emergencia más cercana.

En el túnel con incidencia, existirán diferentes casos de ventilación. Especialmente para el caso de incendio, se tratará de contener la producción y distribución de humos, tanto para ofrecer las mejores opciones de evacuación, cómo para la intervención de los equipos de rescate.

5.1.2.6. Ventilación Túnel único

El tramo de túnel único discurre desde el pozo de lanzamiento de las tuneladoras al Sur de la estación N° 9 hasta la rampa de conexión al viaducto al Norte de la estación N° 10 sobre la Av. Suba con Carrera 137ª.

Se recomienda ubicar un pozo de ventilación en este recinto que deberá ser diseñado para ventilar de forma independiente los dos túneles de tuneladora, así como el túnel construido en trinchera cubierta.

La distancia entre las estaciones N° 9 y 10 es superior a 1400 m y por tanto requiere de al menos una salida de emergencia (la distancia entre salidas de emergencia según NFPA-130 no debe ser superior a 762 m). El pozo de salida de emergencia también será pozo de ventilación.

En el final del tramo subterráneo e inicio de la rampa, se ubicará un pozo que combinará las funciones de ventilación, salida de emergencia y bombeo.

5.1.2.7. Cámaras de ventilación

En los extremos de las estaciones y en los pozos de ventilación, cercano o superior a la superficie de terreno, se ubicarán las cámaras de ventilación que alojarán los ventiladores.

Las cámaras de ventilación serán accesibles para mantenimiento y serán conectados eléctricamente y contraladas desde el centro de control en el patio taller. Los ventiladores se ubicarán en orientación horizontal.

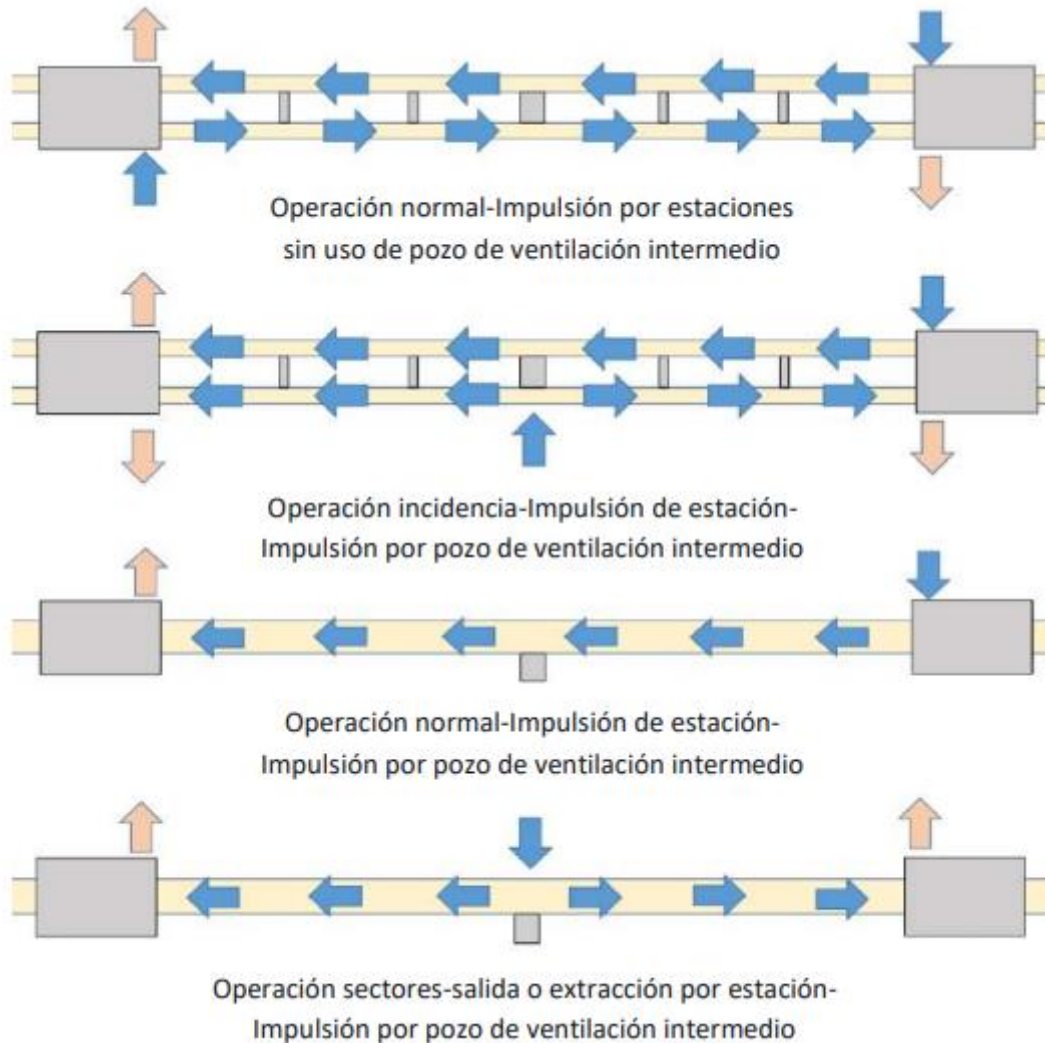


Ilustración 9 Flujo de ventilación en función de tipos de operación

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

5.2. SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA

Para la Recopilación y Análisis de la Información de la Superestructura de vía, se considerarán parámetros generales, debido a que no está definido si el sistema que se implantará corresponde a un sistema tipo tranviario, Tren Tram, Sistema LRT o Metro

Pesado, resultado que saldrá de los estudios de demanda del sistema del Corredor Férreo del Sur con la ayuda de la disciplina de Transporte en la Etapa IV del proyecto.

Sin limitarse a estas, algunas normas particulares a considerar son:

- EN 13674 - Aplicaciones ferroviarias. Vía – Rieles
- UIC 721 R - Recomendaciones para el empleo de diferentes tipos de aceros para rieles
- UIC 703 R - Características de trazado de vías recorridas por trenes de pasajeros rápidos
- UIC 860 - Especificación técnica para el suministro de rieles
- UIC 861-2 - Perfiles unificados de rieles – Rieles agujas adaptados a los perfiles de rieles UIC 54 y 60 kg/m
- EN 13232 Aplicaciones ferroviarias. Vía – Aparatos de vía
- EN 13803: Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetro de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1435mm y mayores. Componentes de vía, de aparatos de vía y situaciones comparables de proyecto del trazado con variaciones bruscas de curvatura.
- EN 13674-2 Aplicaciones ferroviarias. Vía – Rieles. Parte 2: rieles para aparatos de vía utilizados con rieles Vignoles de masa superior o igual a 46 kg/m
- EN 13674-3 Aplicaciones ferroviarias – Vía – Riel – Contra riel
- EN 13230 Aplicaciones ferroviarias - Riel - Durmientes y soportes de concreto

En ferrocarriles urbanos se podrán emplear el tipo de rieles según la norma UIC rieles con perfil de viga, se tienen los siguientes perfiles normalizados:

Rieles con perfil de riel Vignole: 46 E2, 49 E1, 50 E6, 54 E1, 54 E2, 54 E3 y 60 E1

Rieles con perfil de riel de viga: 51 Ri1, 57 Ri1, 59 Ri2 y 60 Ri1

Los perfiles de riel de viga son de especial aplicación a vías en placa de concreto con riel embebido en zonas urbanas, recintos portuarios, patios y talleres, pasos a nivel, etc., para facilitar el tránsito rodado y peatonal.

En esta etapa aún se desconoce la tecnología de la propuesta y la finalidad de presentación de esta normativa será poder realizar cita, referencia o consulta en etapas posteriores.

5.2.1. Composición Técnica de la Superestructura del Proyecto Regiotram Occidente

El proyecto necesita diferentes tipos de vía para adaptarse a los diferentes entornos. Los elementos más importantes para el diseño son los siguientes:

- En Bogotá:

- El ramal metro de tipo tranviario con curvas de radio pequeño (cerca 30m) compatibles con una velocidad hasta 30 km/h.
- En el derecho de vía existente con velocidades entre 50 km/h y 70 km/h.
- En las afueras del perímetro urbano, un antiguo trazado ferroviario lineal con una velocidad de diseño que alcanza 70 km/h.
- Gran concentración de cruces viales
- Estaciones con cruces peatonales
- La posibilidad de tener una vía verde en los sectores urbanos
- Los datos climáticos, con lluvias importantes.

Las distintas soluciones estudiadas para la plataforma han sido las siguientes:

- Sección de vía en balasto,
- Sección de vía en placa,
- Sección de vía sellada, por puentes.

Los factores que se han tenido en cuenta a la hora de adoptar una u otra solución en cada zona del trazado han sido los siguientes:

- Economía de la solución,
- Integración de la actuación en el entorno,
- Proyecto arquitectónico y terminaciones en superficie,
- Limitaciones de la construcción,
- Reducción del número de transiciones en la estructura de la vía,
- Disponibilidad de la vía y requisitos de mantenimiento.

Las sugerencias del estructurador son de utilizar dos perfiles compatibles que cumplen la mayoría de los requisitos listados:

- El carril Vignole 50E6 (según norma EN13674-1 de junio de 2017), el cual es más ligero que el UIC54 y muy adaptado al proyecto de tren ligero de Bogotá,
- Los rieles a utilizar en el Sistema Regiotram de Occidente están en definición y la última propuesta por el Concesionario CFRO es utilizar los rieles 54E1 y 54G2:
- y el perfil de carril de garganta tipo 41GP13 o Ri54G2. Este tipo de riel, no está en la norma EN 14811 de enero de 2010, está en el proyecto de norma prEN 14811 de julio de 2016.

5.2.1.1. Plataforma ferroviaria de vía en placa

Fue considerado una vía en placa diseñada con traviesas bi-bloque en concreto pretensado apoyando los rieles.

Las traviesas son bloqueadas en una capa de concreto simple de resistencia bastante alta (entre 35 y 40 MPa) que recupera los esfuerzos transmitidos por las circulaciones de los trenes. El conjunto está basado en una capa de concreto simple de cimentaciones de muy baja resistencia (aproximadamente 20-25 MPa) que transmite los esfuerzos hasta la plataforma soporte.

Con este tipo de concepción, la capacidad portante de la plataforma de material de relleno QS3 debe ser compactada para garantizar un EV2 de al menos 30 MPa.

Para la vía en placa:

- El tipo de riel es el carril de garganta tipo 41GP13 o R154G2.
- Las traviesas propuestas son del tipo bi-bloque en concreto armado pretensado con una altura reducida a fin de optimizar los espesores de concreto para las capas de soporte.
- Los bloques están pre-equipados con insertos para la utilización de tornillos de ajuste altimétrico y de tira para el ajuste del trazado.

5.2.1.2. Principios de drenaje

Los principios de drenaje de la plataforma de concreto son diferentes en relación con el tipo de revestimiento elegido: césped, concreto, etc. Por lo tanto, la captación de agua está siempre realizada al nivel del primero nivel impermeable con pendiente transversal de la plataforma lo que permite proteger las capas de cimentaciones y la infraestructura de la plataforma ferroviaria.

En el proyecto la vía en placa se utiliza en el Ramal Metro principalmente y hasta Conferías para permitir un ancho menor, y de nuevo desde Cartagenita también para limitar los impactos prediales, hasta Facatativá.

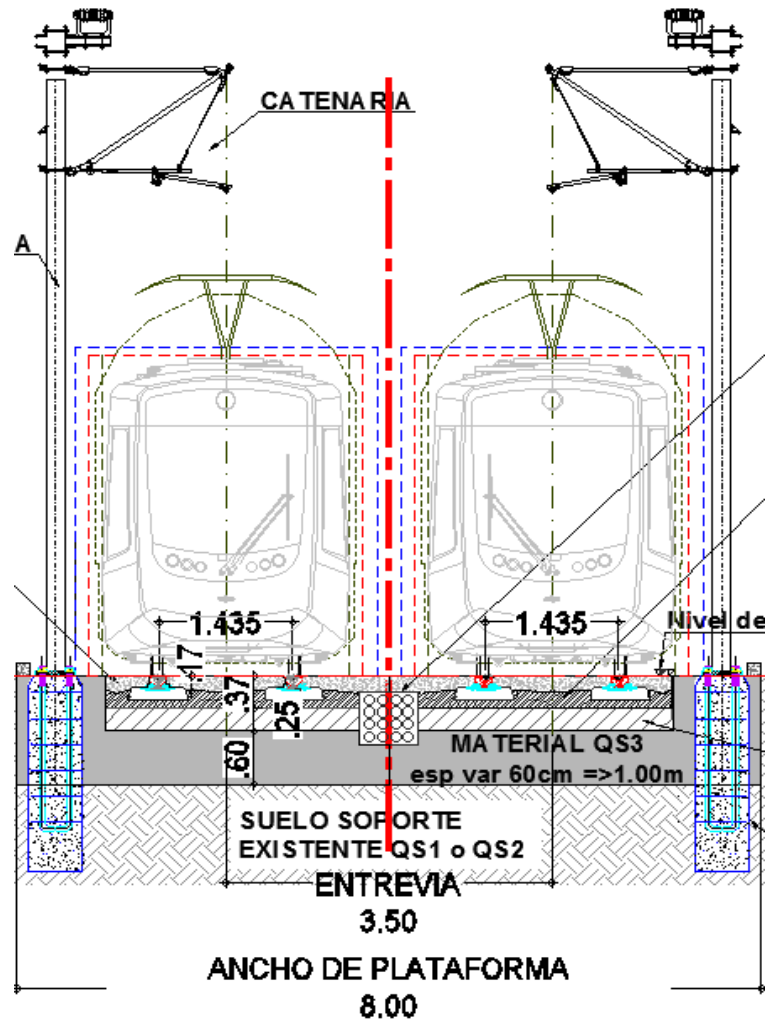


Ilustración 10 Sección tipo de vía en placa

Fuente: Anexo 04 Proyecto Factibilidad Regiotram Occidente

5.2.1.3. Plataforma ferroviaria de vía en balasto

La vía en balasto está constituida de traviesas mono-bloque en concreto armado pretensado apoyando los rieles. Las traviesas están fijadas en una capa de balasto que recupera los esfuerzos debidos a las circulaciones ferroviarias y los transmite a la plataforma compactada.

El espesor del balasto por debajo de las traviesas depende de la carga al eje de los trenes y de la velocidad de operación. Esta capa de balasto está basada en la plataforma compactada (sub-balasto y capa de forma) que esta nivelada con pendiente transversal para asegurar el drenaje superficial.

Las disposiciones generales de concepción de las vías en balasto están descritas en el documento MANUAL FÉRREO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS_PARTE 1_Version 0 (Ministerio De Transporte - Viceministerio De Infraestructura - Dirección De Infraestructura)

Para la vía de balasto, fueron considerados:

- El uso del perfil de riel 50E6, clase R260.
- Traviesas mono-bloques de concreto pretensado por la vía balasto. No se recomiendan los durmientes bi-bloques, ya que provocan un desgaste acelerado del balasto.

5.2.1.4. Balasto

El balasto debe obtenerse mediante triturado mecánico de roca proveniente de una cantera adecuada. Es imprescindible disponer de balasto con calidad suficiente para no aumentar el desgaste de la vía e impactar la geometría de la vía, y al final, aumentar su frecuencia de mantenimiento.

Los requisitos mínimos son:

- Roca dura
- Resistencia a la abrasión (coeficiente de atrición Los Ángeles < 22% y Micro-deval < 11),
- Granulometría entre 25-50 o 31.5-50
- Forma angular

5.2.1.5. Drenaje

El drenaje está realizado con la nivelación de la capa de forma y del sub-balasto creando un pendiente transversal. La captación del agua se realiza lateralmente en los dispositivos de drenaje longitudinales: cunetas, etc.

La realización correcta de la plataforma es una condición imprescindible para garantizar un drenaje eficiente y la durabilidad de la plataforma ferroviaria:

- Granulometría y compactación garantizando la impermeabilización,
- Calidad de la realización del pendiente transversal.

5.2.1.6. Revestimientos y tratamiento de intersecciones

La característica no fijada de la vía en balasto y la necesidad y frecuencia del mantenimiento perjudican las posibilidades de colocar revestimientos en línea. El revestimiento no es

posible para los aparatos de vía por causa de los elementos móviles y de la necesidad de controlar, vigilar, arreglar los elementos de fijación.

En caso de cruce Vial, hay dos posibilidades:

- La vía cruzada es secundaria con tráfico pesado bajo: puede ser cerrada con menos impactos sobre el tráfico; en este caso, se puede conservar la estructura de plataforma con balasto y usar revestimiento modular que se pueden quitar provisoriamente para asegurar el mantenimiento de la vía. Los elementos modulares pueden ser en caucho o en concreto; para talleres, se pueden aceptar los elementos de madera.



Ilustración 11 Ejemplo de elementos modulares en caucho o en concreto

Fuente: Anexo 04 Proyecto Factibilidad Regiotram Occidente

- La vía cruzada es un eje importante de circulación con tráfico pesado elevado; en este caso, es preferible modificar la estructura de la vía: pasar puntualmente a una vía en placa en lugar de balasto. De hecho, las circulaciones Viales impactarían demasiado la vía en balasto lo que generaría muchas correcciones de geometría, mantenimiento demasiado frecuente, y cerramiento del eje Vial

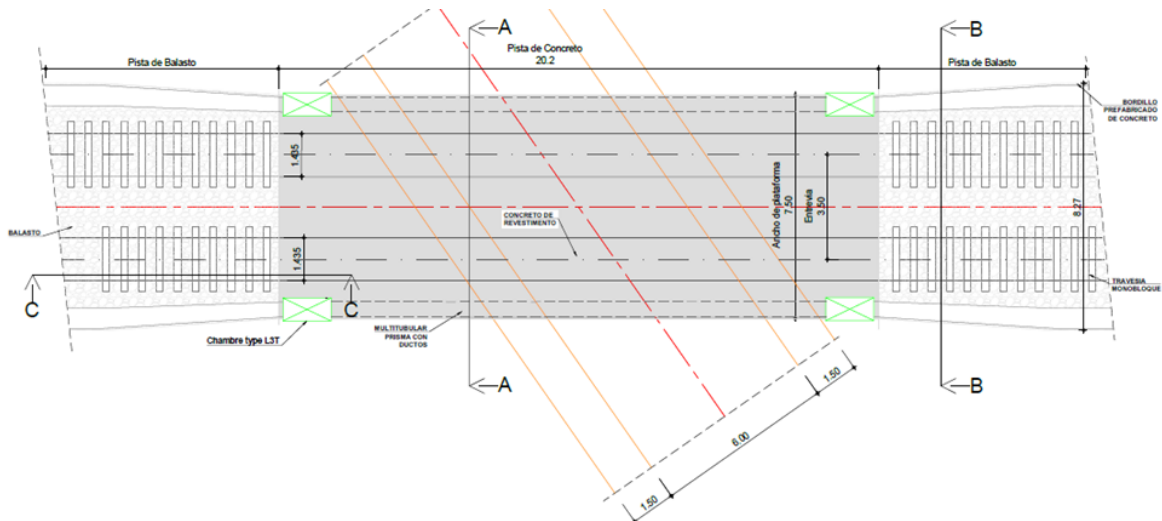


Ilustración 12 Principio de cruce Vial por la infraestructura ferroviaria con modificación del tipo de vía: placa / balasto

Fuente: Anexo 04 Proyecto Factibilidad Regiotram Occidente

5.2.1.7. Sección Tipo de Vía en Balasto

Para el proyecto Regiotram Occidente, fueron propuestas dos tipos de vía en balasto lo que permite adaptarse a las condiciones de inserción urbana del proyecto. La única diferencia entre los dos tipos de vía afecta el balasto y su retención lateral y también, la colocación de la multitubular y de las primas de cables.

Sin embargo, los dos tipos de vía de balasto son muy parecidas: tienen las mismas características dimensionales, el mismo comportamiento mecánico, los mismos materiales, las mismas necesidades de mantenimiento, y disposiciones constructivas muy próximas.

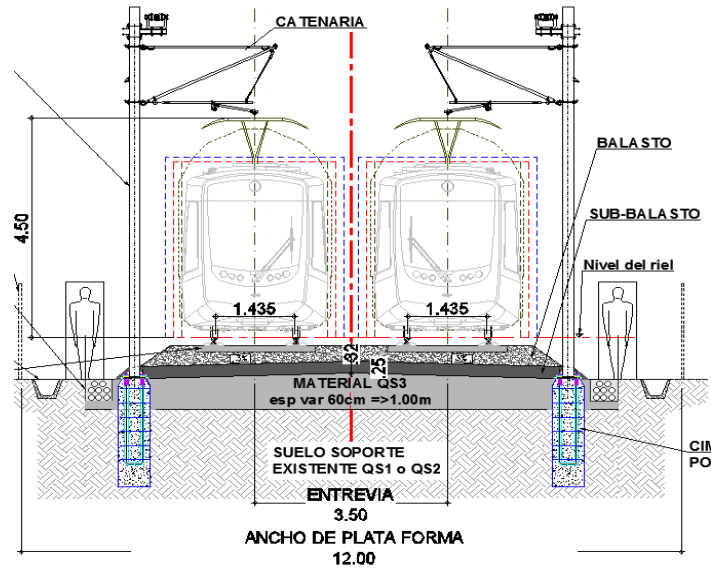


Ilustración 13 Sección tipo de vía de balasto clásico

Fuente: Anexo 04 Proyecto Factibilidad Regiotram Occidente

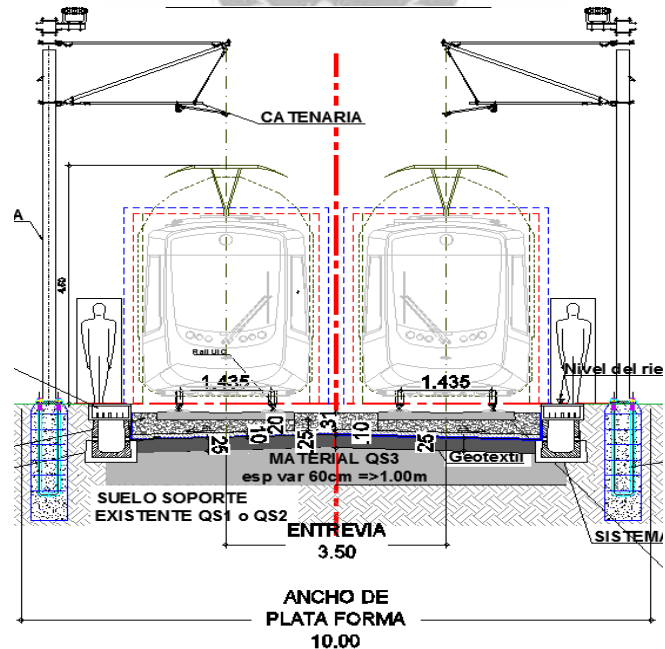


Ilustración 14 Sección tipo de vía de balasto enmarcado

Fuente: Anexo 04 Proyecto Factibilidad Regiotram Occidente

5.2.1.8. Aparatos de vía

Es necesario disponer aparatos de vía para dar acceso y servicio a las distintas vías habilitadas para garantizar la explotación y funcionamiento del corredor. Estos aparatos se disponen según el esquema del plano de vía en el corredor, a proximidad de las estaciones, así como en los accesos a las instalaciones de talleres y cocheras.

5.2.1.9. Aparatos para riel Vignole / Vía balasto

Los aparatos de vía para vías en balasto tienen una estructura idéntica a la de las vías en línea.

Los aparatos de vía con riel Vignole usados para el proyecto Regiotram Occidente serán de concepción común, parecidos a los usados para líneas ferroviarias clásicas:

- Dispositivos flexibles de intercambio de agujas con talón soldado,
- El punto de conmutación y el contra-interruptor se fabrican mediante el mecanizado de perfiles de carril especiales.
- Dispositivo de bloqueo de la aguja.
- Fijación de la aguja con las mismas fijaciones que las utilizadas para la parte difícil del carril.
- Núcleo cruzado de acero al carbono o manganeso soldado por centelleo sin ensamblaje mecánico.
- Dispositivo de accionamiento: manual con o sin inversión, eléctrico con motor electrohidráulico con patín colocado entre los rieles.

La geometría del trazado de los aparatos de vía es conforme a la terminología siguiente:

- Angulo de desviación definido por la tangente.
- Sección de la vía desviada acoplada antes del corazón de las agujas para formar un corazón rectilíneo o acoplado detrás del corazón para formar un corazón curvilíneo.

Las siguientes geometrías son clásicas y pueden ser utilizadas:

- cambio tg 1 / 6; 1 / 9; 0.085;
- radios 75, 100, 250 y 450 m.

5.2.2. Composición Técnica de la Superestructura del Proyecto PLMB

5.2.2.1. Características de la Vía Férrea

La vía férrea está compuesta de una estructura clasificada en:

- Soporte de vía (1):
 - Viga de concreto armado conectada al tablero.
- Componentes principales de la vía (2):
 - Rieles de rodamiento tipo 54E1,
 - Sistemas de fijación de los rieles con sillas de anclaje,
 - Aparatos de vía, - Dispositivos de parada en extremidad de vía.
- Tercer riel (3)

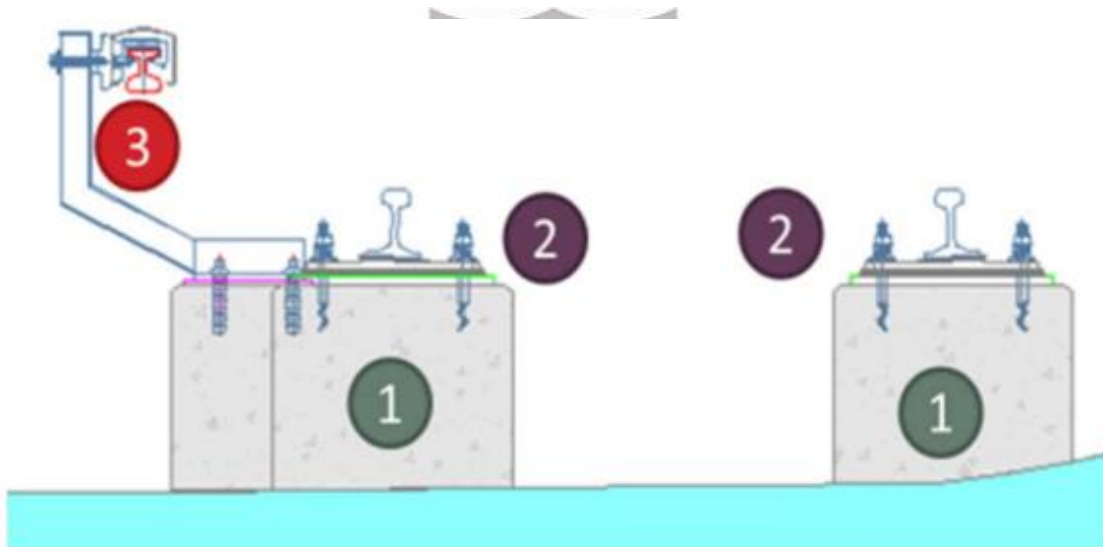


Ilustración 15 Características de la vía férrea

Fuente: Consorcio Metro-Bog

Según el documento, Contrato IDU 849 - 2013: Diseños para la Primera Línea del Metro en el Marco del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP – para la Ciudad de Bogotá, se toman las siguientes consideraciones.

5.2.2.2. Tendido de vía en túnel

Se elige el apoyo de la vía en losa de concreto (vía en placa) en vez de la vía sobre balasto, al considerarse que es el óptimo en túneles urbanos ya que los trabajos de conservación y mantenimiento se reducen, economizan y se simplifican claramente y de una forma importante.

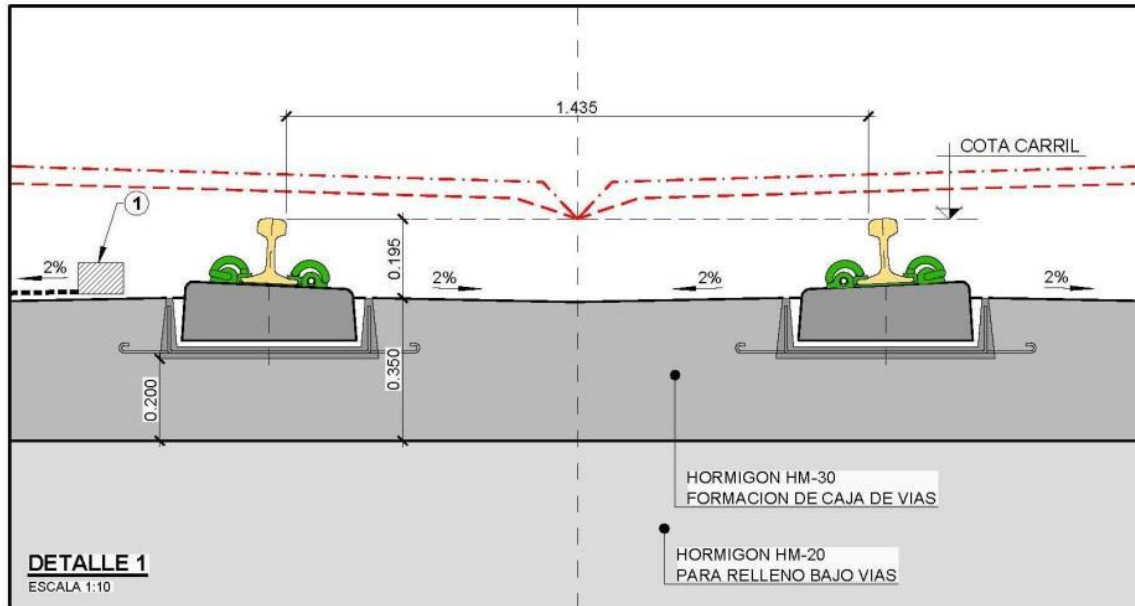


Ilustración 16 Tendido de vía Bloques Embebidos

Fuente: Diseño de la primera línea de metro en el marco del sistema integrado de transporte público-SITP-para la ciudad de Bogotá (Colombia)

El tendido de vía seleccionado para el tramo en túnel de la PLMB es el de bloques embebidos que consiste en bloques de concreto recubiertos de elastómero, que se encuentran incrustados en el concreto de la placa principal. Cada hilo es soportado por un bloque de concreto independiente introducido en una cazoleta y embebido en un elastómero. Éste hace de eslabón elástico entre el bloque y la cazoleta, actuando a la vez de sistema antivibratorio. Los bloques elásticos se hormigonan posteriormente al realizar la placa, sumergiendo las cazoletas. Para realizar la sujeción del riel al bloque se puede emplear el sistema que se desee (Pandrol, Nabla, etc.)

Los esfuerzos dinámicos de elasticidad y amortiguación son absorbidos por el elastómero. El elastómero puede ser adherido en fábrica o in situ mediante el vertido de un material elastomérico.

5.2.2.3. Tendido de vía en viaducto

La estructura en viaducto está afectada por unas condiciones de deformaciones y estabilidad que difieren mucho de las que se dan en el túnel.

La tendencia moderna tiende a descartar la vía en placa en el viaducto debido a la excesiva sobrecarga que supone la losa de hormigón y a la difícil compatibilidad de deformaciones térmicas y reológicas de la propia vía en placa con la estructura del viaducto.

El tendido de vía seleccionado para el tramo en viaducto es el de placas de fijación directa sobre plinto.

El Sistema de Fijación Directa es un sistema de sujeción para vías en placa, donde el riel apoya sobre la placa principal sin la interposición de traviesas o bloques, realizándolo de manera directa. Se intercala entre riel y concreto una placa base de acero. Esta placa intermedia está recubierta por material elástico que junto con los tornillos de anclaje roscados en vainas hormigonadas situados en los laterales permiten el ajuste y la nivelación del riel una vez instalado.

El Sistema de Fijación Directa se compone de los siguientes elementos:

- Clips elásticos
- Topes aislantes o placas guías (para aislar el riel eléctricamente de la losa de concreto y fijar correctamente el riel a la sujeción)
- Placa de asiento
- Placa Base
- Dos o cuatro pernos de anclajes sobre losa de concreto
- Dos o cuatro vainas de sujeción para vía hormigonada.

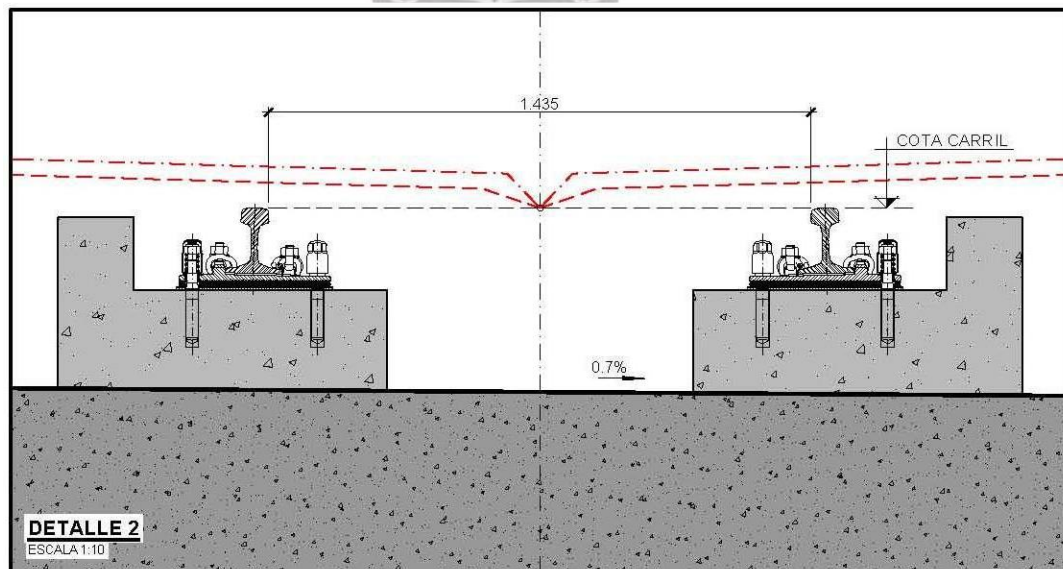


Ilustración 17 Tendido de vía en placa, fijación directa sobre el plinto

Fuente: Diseño de la primera línea de metro en el marco del sistema integrado de transporte público-SITP-para la ciudad de Bogotá (Colombia)

5.2.2.4. Características del Tendido

- Vibraciones

Se proponen dos tipos de tendidos de vía con fijación directa atendiendo a la atenuación necesaria:

- Sistema para los tramos en que los requisitos de mitigación de vibraciones no excedan de 10 dB.
- Sistema para los tramos en que existe una demanda para la mitigación de vibraciones igual a 20 dB.

La diferencia entre ambos consiste básicamente en la interposición, en el sistema de mayor atenuación, de las placas elásticas y de distribución de cargas, entre la placa de asiento y la placa Base. Se modifican también las geometrías de la placa Base y de los topes elásticos (placas guía).

En base a un estudio de ruidos se determina los puntos del trazado donde se requieren los distintos niveles de atenuación del tramo en viaducto.

5.2.2.5. Tendido de vía en Talleres y Cocheras

La zona de talleres es un área que alberga una gran cantidad de metros de vía en la que el terreno también está afectado por unas condiciones de deformaciones y estabilidad que obligan a utilizar un tendido de vía menos rígido. Es por ello que el tendido seleccionado es el de vía en balasto.

La vía en balasto está formada por 4 elementos fundamentales:

- *Balasto*: Es el elemento principal de este tipo de tendido de vía. Es la capa de piedra partida que se coloca sobre la plataforma envolviendo a las traviesas en cinco de sus seis caras. De esta forma el balasto transmite y reparte las cargas para no superar las tensiones admisibles de las capas inferiores, empotra a las traviesas para evitar el movimiento longitudinal debido a la dilatación, la aceleración y el frenado del tren y el movimiento transversal debido al movimiento de lazo y a la fuerza centrífuga, proporciona la elasticidad necesaria a la vía, haciendo más cómoda la rodadura y reduciendo los impactos debidos a los efectos dinámicos, permiten afinar la rasante de la vía actuando sobre él, facilita el drenaje y permite la evaporación del agua de la plataforma. Además el balasto permite, mediante máquinas bateadoras, recuperar las características geométricas de la vía y amortigua el ruido y las vibraciones provocado por el paso de las unidades de material rodante.
- *Sub-balasto*: Su finalidad es proteger la parte superior de la plataforma (capa de forma) de la erosión generada por el propio balasto y el hielo, además naturalmente de repartir las cargas verticales.
- *Traviesas*. Las traviesas tienen como función fundamental el repartir las cargas verticales sobre el lecho de balasto, y el mantener la estabilidad transversal y longitudinal de la vía frente a los esfuerzos dinámicos de los vehículos y los efectos térmicos de los carriles.

- *Sujeción:* Las sujeciones tienen como misión principal sujetar el patín del carril a la traviesa, de tal manera que la resistencia al deslizamiento del carril sobre las traviesas sea muy superior a la resistencia al desplazamiento de éstas respecto al balasto, estando la banqueta totalmente estabilizada. Además, la sujeción ha de poder garantizar el par de apriete o la fuerza con que queda sujeto el carril bajo procesos dinámicos sometidos a importantes vibraciones. En este sentido, se exige que la frecuencia propia de vibración de la sujeción sea claramente superior a la del carril, para que así no se produzca una pérdida de contacto entre ambos.

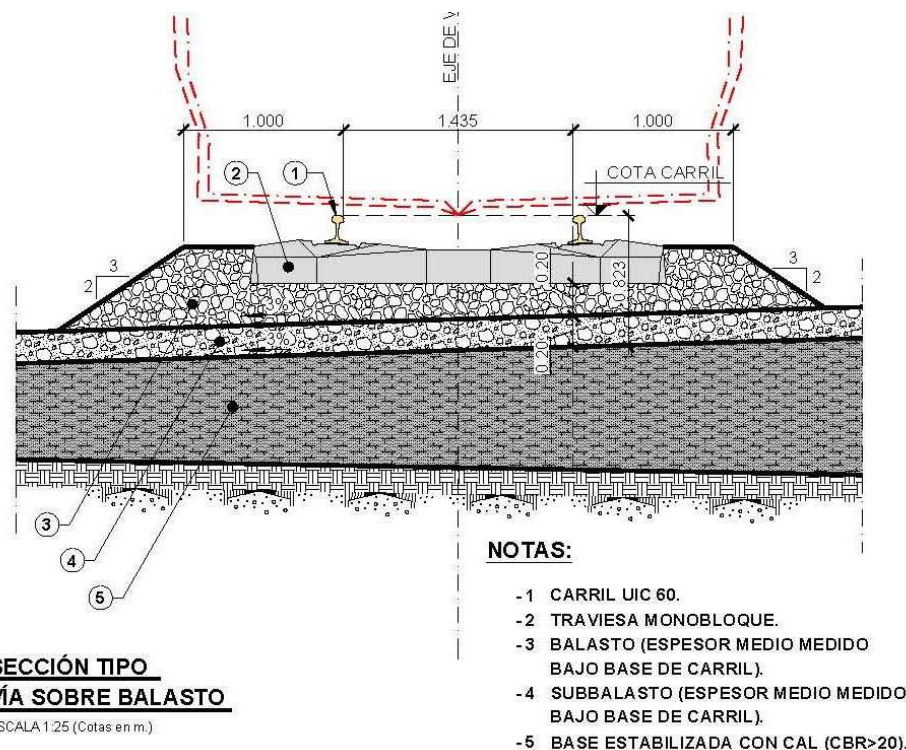


Ilustración 18 Tendido de vía en balasto para Patios de la PLMB

Fuente: Diseño de la primera línea de metro en el marco del sistema integrado de transporte público-SITP-para la ciudad de Bogotá (Colombia)

Dentro de la zona de talleres y cocheras se ha previsto de soluciones puntuales de tendido de vía que se adaptan mejor a las condiciones:

- Vía en placa, en las cocheras de estacionamiento y el tramo final de la vía de pruebas
- Vía embebida en concreto, dentro de los talleres e integrada en la losa que forma la solera, además de los cruces de la vía con los viales vehiculares.
- Vía sobre pórticos metálicos de apoyo, en los fosos de los talleres y de las zonas de inspección y medición.

5.2.2.6. Drenajes

Existen tres tipos de drenaje que es necesario evacuar en la condición de servicio de la PLMB:

- El primer tipo de drenaje proviene del drenaje de pantallas o túnel, que está asociado a la permeabilidad final con la que quedaran contruidos estos elementos y contará con un revestimiento especial, que en alguna medida reducirá la permeabilidad del túnel y por ende la generación de este tipo de drenaje.
- El segundo tipo de drenaje es producido por el ingreso de precipitación por las ventilaciones de túnel o el foso de ingreso, al inicio del trazado del túnel.
- El tercer tipo de drenaje, corresponde a la entrada en operación del sistema de protección contra incendio del túnel. Debido a que su magnitud es muy superior a los dos tipos de drenajes mencionados, se establecerá como el sistema de drenaje de diseño prioritario y será con el que se dimensionarán las estructuras propuestas, en especial el canal longitudinal central, que es el elemento principal del sistema.

5.2.3. Composición Técnica de la Superestructura del Proyecto SLMB

5.2.3.1. Parámetros geométricos

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

Parámetro	Valores recomendados	Valores excepcionales
Ancho de vía	1435 mm	
Radio mínimo en planta (vías comerciales)	400 m (*)	240 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	150 m
Inter-eje mínimo	<ul style="list-style-type: none"> • Túnel entre pantallas o viaducto 3.50 m en recta y radios $R > 900\text{m}$ 3.71m en radios $\leq 900\text{m}$ (**) • Bitubo 14m 	
Velocidad máxima de operación en vías comerciales (V)	90 km/h	
Peralte máximo (D)	140 mm	
Insuficiencia máxima de peralte (I)	100 mm	
Aceleración transversal no compensada (máxima)	0.65 m/s ²	
Variación máxima del peralte con el tiempo	50 mm/s	
Variación máxima de la insuficiencia de peralte con el tiempo	60 mm/s	
Variación máxima del peralte (alabeo)	$\frac{180}{V} \leq 2 \text{ mm/m}$	$\frac{180}{V} \leq 2.5 \text{ mm/m}$
Curva de transición	Clotoide	

Ilustración 19 Parámetros geométricos en planta

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

Se asume que se trata de una vía con ancho estándar UIC. La Unión Internacional de Ferrocarriles (conocida por las siglas UIC, del francés Union Internationale des Chemins de Fer) Sección transversal típica Vía en placa. La estructura de la vía en placa se compone de:

	Patio-Taller	Línea
Vía	Perfil de vía	
Soportes de vía	Traviesas o placas base de hormigón	
Soportes del tercer riel	Mutualizado con traviesas o independiente	
Losa de la pista	C30/37 hormigón espesor: 19cm	C30/37 hormigón espesor: 23cm
Losa de cimentación	C20/25 hormigón espesor: 20cm	C20/25 hormigón espesor: 20cm
Subsuelo	50 MPa	

Ilustración 20 Estructura de vía en concreto

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

La estructura de la vía sobre balasto se compone de:

	Patio-Taller	Línea
Vía	Perfil de vía	
Soportes de vías	Traviesas de hormigón	
Soportes del tercer riel	Mutualizado con durmientes	
Lecho de balasto	15cm bajo durmientes	25cm bajo durmientes
Subsuelo	80 MPa Impermeabilización	

Ilustración 21 Estructura de vía en balasto

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

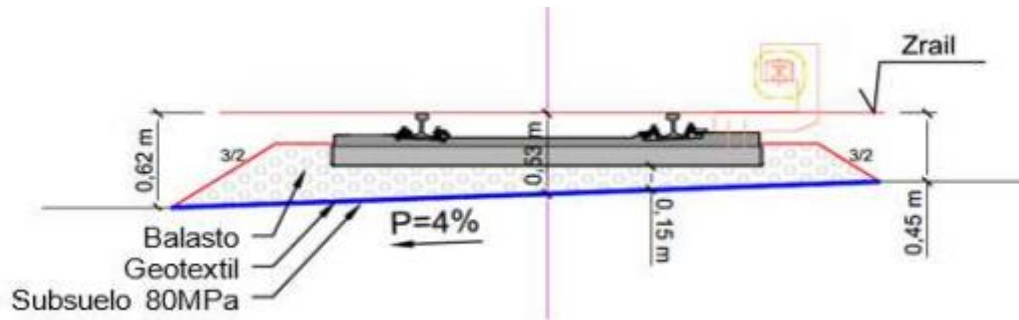


Ilustración 22 Vía única sobre balasto en el patio-taller

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

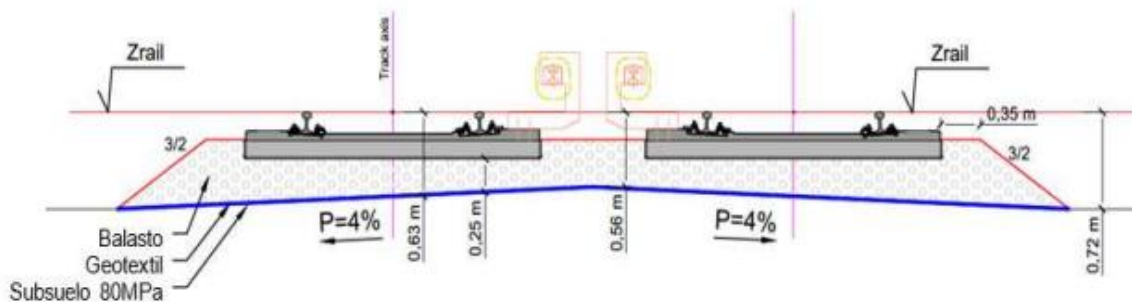


Ilustración 23 Vía doble sobre balasto en línea

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

5.2.3.2. Subsuelo

La permeabilidad del lecho de balasto implica el sellado de la subrasante. El objetivo es asegurarse de que no entre agua en la subrasante, lo que podría causar importantes desordenes.

5.2.3.3. Drenaje

Vía en placa

El drenaje superficial de una vía en placa lo realiza la propia superficie de la losa de la vía. Una inclinación transversal de esta superficie (1%) permite que el agua se drene hacia el exterior y luego hacia los colectores.

Hay que prestar atención a la interfaz entre el hormigón de la losa de la vía y el relleno entre vías para garantizar la continuidad del flujo hacia los colectores. Vía sobre balasto.

Como el balasto es un material permeable, el drenaje se realiza en la interfaz entre el lecho de balasto y la subrasante. Para garantizar la estabilidad de la vía, la subrasante debe ser perfectamente drenada. Por ello, presenta una elevada pendiente transversal (4%) para facilitar el flujo de agua y guiarla hacia el sistema de recogida longitudinal. Alineación e interfaz del material rodante Deformación de la vía y radio mínimo.

La vía sobre balasto presenta una relativa flexibilidad y, en consecuencia, riesgos de desplazamientos/deformaciones transversales. En comparación, una vía de hormigón rígido impide cualquier desplazamiento y garantiza una buena calidad/estabilidad de la alineación de la vía. En el patio-taller, la ausencia de tráfico estabilizador regular amplifica este fenómeno de deformación de la vía de balasto.

En el exterior, las vías están sometidas a las variaciones de temperatura y a las radiaciones solares. La dilatación térmica provoca un empuje hacia el exterior de las curvas, lo que provoca una deformación de la vía. Es necesario aplicar refuerzos de balasto, sobre todo en las zonas con radios de curva pequeños. Estos refuerzos permiten contrarrestar las fuerzas exteriores en las curvas, pero también conllevan problemas de espacio y mantenimiento.

Sin embargo, los refuerzos de balasto no son compatibles con el tercer riel. Éste debe implantarse preferentemente a lo largo del interior de la curva para crear un refuerzo de balasto al menos a lo largo del exterior de la curva. Nuestras experiencias muestran que la vía sobre balasto no se adapta a las alineaciones sinuosas y requiere frecuentes acciones de mantenimiento para garantizar una buena geometría de la vía. Por ejemplo, en el caso del tren-tranvía Rhône-Express: la vía sobre balasto prevista inicialmente tuvo que hormigonarse en todas las curvas para evitar deformaciones de la vía y asegurar/garantizar la geometría de la misma.

A título informativo, la SNCF (ferrocarriles franceses) publica criterios de alineación para las vías sobre balasto, que recomiendan:

- Un radio mínimo de 200m;
- Un radio mínimo de 190m en las vías de servicio (vías secundarias y el patio-taller), y excepcionalmente 150m;
- La implantación de hombros de balasto para las curvas de radio hasta 500m. Galibo dinámico.

La vía sobre balasto es menos estable. Por lo tanto, el galibo dinámico que debe considerarse para el material rodante es más amplio para la vía sobre balasto que para la vía en concreto. Así, el galibo amplía en unos 60 mm (30 mm a cada lado). Esta ampliación tiene repercusiones en:

- La posición de los puntos de engaño se puede desplazar, lo que provoca el alargamiento de las vías;
- La distancia mínima aceptable entre los ejes de las vías es mayor.

También habría que comprobar el impacto de la vía sobre balasto en el diseño de la estación: distancia entre ejes de vía (de centro a centro) y ubicación lateral del andén.

5.2.3.4. Transición vía sobre balasto / vía en concreto

Este tipo de transición es necesaria para garantizar una variación suave de la rigidez entre una estructura de vía rígida (vía en concreto) y una blanda (vía sobre balasto).

Estas transiciones deben localizarse en los siguientes puntos:

Si se opta por la vía sobre balasto, estas transiciones deben realizarse en cada cambio de tendido:

- A la entrada del túnel;
- A la entrada de la zona del patio-taller;
- Antes/después de cada curva cerrada (principalmente en el patio-taller);
- Antes/después de cada desvío de radio pequeño (principalmente en el patio-taller);

5.2.4. **Análisis de la Información acerca de la Infraestructura y Superestructura de vía.**

Adicional a la descripción del tipo de cimentación empleada en algunas de estas obras descritas y de alguna información general sobre los suelos en dichos puntos, se observa de forma particular para el proyecto de la SLMB información mas al detalle sobre el tipo de suelo encontrado en estudios geotécnicos, este tipo de información puede generar importante referencia para el prediseño de la superestructura de la vía férrea.

Se indica que el perfil del subsuelo es altamente compresible y, en consecuencia, se pudieran producir deformaciones diferenciales y agrietamientos. Por lo tanto será muy importante el valor del asentamiento.

Observando el Manual Férreo de Especificaciones Técnicas Parte I (Ministerio de Transportes). Se hace notar que, si bien estos Manuales no han sido oficializados, se consideran que pueden servir de referencia para el prediseño. El primer volumen del Manual desarrolla los siguientes temas:

- Especificaciones Geométricas de Trazado.
- Elementos de la superestructura ferroviaria.
- Dimensionamiento de la Sección Transversal.
- Recomendaciones para el Diseño de Esquemas de Vía, Localización de Cambiavías y Apartaderos.
- Recomendaciones Básicas de Diseño de Estaciones y Patios de Maniobra.
- Especificaciones de Construcción.

- Especificaciones de Operación y Control Ferroviario.

Ahora bien, el Manual Férreo de Especificaciones Técnicas Parte II. Del Ministerio de Transporte., Por su parte este volumen trata los siguientes aspectos:

- Especificaciones de Mantenimiento.
- Inspección y Auscultación de la Vía. Equipos para la Inspección de la Infraestructura y de la Superestructura.
- Parámetros de Tolerancia en la Vía.
- Parámetros de Tolerancia de Fatiga y Desgaste de los Componentes de la Vía.
- Parámetros de Tolerancia de Fatiga y Desgaste de los Componentes del Material Rodante.
- Ciclo Típico de Mantenimiento.
- Procedimiento de Corrección de la Geometría de la Vía.
- Procedimiento de Corrección de los Defectos de los Componentes de la Superestructura de la Vía.
- Procedimientos de Corrección de los Defectos del Material Rodante.
- Especificaciones de Seguridad Ferroviaria.
- Otras Recomendaciones.

Ninguno de los temas que se desarrollan en este segundo volumen del Manual resulta de interés para el prediseño de la Superestructura de la Vía Férrea.

La información recopilada sobre el sistema Regiotram Occidente, se puede aprovechar siempre y cuando las alternativas incluyan vías a nivel con vías en balasto y/o vía placa, ya que describe claramente las características de este tipo de vías, lo que será importante también al momento de proponer una interoperabilidad entre sistemas.

Adicionalmente, en los documentos no se detectó una descripción completa de las siguientes interfaces, las cuales serán definidas y se incluirán en las especificaciones técnicas:

- Las interfaces de la vía férrea con los demás sistemas: conexión a las subestaciones (cables de retorno), puesta en paralelo (cables de equipotencial), instalación de los equipos de señalización.
- Los criterios para tratar el tema de dilatación de la vía, particularmente en las estructuras espaciales (puentes). (Definir, donde es preciso, los tipos de aparatos de dilatación de vía necesarios. Puede tener impacto sobre el trazado).
- Definir los criterios de dimensionamiento de los bancos de ductos laterales.

Se observó que el estudio de factibilidad del sistema Regiotram Occidente definió las transiciones entre los diferentes tipos de vía propuestos (vía en balasto carril UIC 54, vía en placa carril UIC 54)

El sistema propuesto por la PLMB plantea un viaducto del tipo gran-U que se soporta mediante pilas de columna circular ubicadas cada 35 metros. Este tipo de sistema parece

una alternativa viable para incluirla entre las propuestas que se generen en beneficio del Corredor Férreo del Sur, debido a que minimiza el impacto al tránsito automotor en la ciudad de Bogotá, sin embargo, no será en esta etapa donde se realicen propuestas formales referentes al tema. En resumen, la documentación de la PLMB disponible entrega datos que serán de interés en el estudio de la propuesta.

En relación con el diseño de la vía, es necesario definir los puntos bajos que generan problemas de drenaje, que pueden requerir modificaciones de perfil para lograr un drenaje adecuado y reducir los problemas de deformaciones que afectan el mantenimiento.

En cuanto al documento: *Diseño para la Primera Línea del Metro en el marco del sistema integrado de transporte público - SITP - para la ciudad de Bogotá (Colombia)*, se hallan datos de interés en cuanto a los tipos de vía a utilizar, en este caso fueron mencionadas tres tipos de vías y su composición técnica:

- Vía en placa para túneles
- Vía en placa para viaductos
- Vía en balasto para las zonas de Patios y talleres.

Se puede observar que este documento no responde a una versión definitiva del Diseño de la PLMB, debido a que presenta múltiples opciones a emplear para el diseño de la Superestructura, cuando en la actualidad se conoce que la opción definitiva será emplear Vía en placa para viaductos, sin embargo, refleja que se han estudiado tecnologías avanzadas para cada opción. No obstante, estos estudios no se han realizado a nivel de detalle, pero abren una ventana de opciones a indagar para el prediseño de la superestructura del Corredor Férreo del Sur.

Solo en el proyecto de la SLMB se logra observar un diagrama con memoria descriptiva que muestra una sección de vía con el uso de tercer riel, siendo este elemento parte de la superestructura de la vía y de gran interés para el corredor férreo del sur de optar por este tipo de sistema de alimentación. Este sistema de conductor se emplea en corriente continua y cuenta con la ventaja de estar poco expuesto a daños por condiciones atmosféricas y medioambientales. Se emplea en servicios urbanos con niveles de tensión de entre 600 y 750 V. Está sustentado sobre aisladores instalados cada 2,5 a 5 m. Entre las desventajas, tenemos que la velocidad está restringida a 70 km/h para trenes que utilizan este tipo de alimentación. Es un sistema que se puede encontrar en los metros que tienen pasos subterráneos, y muy pocas veces se utiliza cuando el tren circula a nivel del suelo, ya que puede provocar lesiones a los transeúntes. Es de tener presente que cada día se utiliza menos este tipo de conductor para los sistemas eléctricos de transporte masivo.

Por otra parte, se observaron a partir de la inspección visual, realizada por esta consultoría (se menciona también en el apartado de Visita de Campo) a los dos lados de la vía férrea actual, grandes áreas de rellenos en grandes longitudes, que requerirán excavaciones con necesidades de mejoramiento de subrasantes, aspectos que deben evaluarse. Esto influye en el prediseño de la infraestructura. En etapas de factibilidad y/o diseño se propone que

se realice una exploración de subsuelo complementaria mediante apiques y extracción de muestras, con el objeto de reducir la incertidumbre del proyecto.

5.3. INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA

Debido a la amplia gama de sistemas y subsistemas que componen este apartado de Infraestructura Ferroviaria, se presenta inicialmente un orden de cómo se llevara a cabo la Recopilación y Análisis de la Información.

- Sistema de Supervisión y Control ubicado en el Centro de Control de Operaciones, el Principal y de Respaldo.
- Sistemas de alimentación de Energía Eléctrica (SER, SET y CTE).
- Sistema de Señalización y Control de Trenes.
- Sistema de Puertas de Andén o Plataforma.
- Sistema de Telecomunicaciones.
- Equipos de Patio Taller.
- Operaciones Ferroviarias

5.3.1. Sistema de Supervisión y Control de Trenes ubicado en el Centro de Control de Operaciones, el Principal y de Respaldo.

Este componente tiene mucho en común con las normativas utilizadas en los sistemas de Señalización y las Telecomunicaciones. Para la RAI del Sistema de Control de Trenes del CCO se inicia listando una serie de normativas internacionales que se deberán tener presente para el desarrollo del proyecto.

- ANSI/TIA/EIA 606-B-2000 “Administration Standard for the Telecommunications Infrastructure” (Norma de Administración para la Infraestructura de Telecomunicaciones)

Esta Norma especifica la administración de un sistema de cableado de telecomunicaciones genérico que admitirá un entorno de múltiples productos y múltiples proveedores. También proporciona información que puede ser utilizada para el diseño de productos de administración. Esta Norma proporciona un enfoque de administración uniforme que es independiente de las aplicaciones, que pueden cambiar varias veces a lo largo de la vida útil de la infraestructura de telecomunicaciones. Establece pautas para propietarios, usuarios finales, fabricantes, consultores, contratistas, diseñadores, instaladores y administradores de instalaciones involucrados en la administración de la infraestructura de telecomunicaciones. El uso de esta Norma está destinado a mejorar la calidad de la inversión del propietario del sistema en la infraestructura y reducir el costo de instalación y mantenimiento del sistema, al extender la vida útil del sistema y proporcionar un servicio efectivo.

- ANSI/TIA/EIA-607 Estándar de Enlace y Puesta a Tierra de Telecomunicaciones.

Plantea el esquema básico y los componentes necesarios para proporcionar protección eléctrica a los usuarios y a la infraestructura de las telecomunicaciones dentro del Data Center, mediante el sistema de puesta a tierra adecuadamente configurado e instalado.

- EN 50128 Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento

La Norma EN-50126 considera los sistemas en su concesión más amplia, mientras que la Norma EN-50129 se refiere al proceso de aprobación para sistemas particulares que pueden exigir dentro del sistema global de protección y control del ferrocarril. Esta norma se concentra en los métodos que se necesitan utilizar para suministrar software que satisfaga los requisitos de integridad de la seguridad definidos por las normas antes mencionadas.

El concepto de clave de esta norma es el de niveles de integridad de seguridad del software. Cuanto más peligrosas sean las consecuencias de un fallo de un software, más alto será el nivel de integridad de seguridad exigido al mismo

- EN 50129 Aplicaciones ferroviarias – Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento – Sistemas electrónicos de señalización relacionados con la seguridad.

Los sistemas relacionados con la seguridad para la señalización incluyen aspectos de hardware y software. A la hora de instalar sistemas completos relacionados con la seguridad, se deben tener en cuenta ambas partes implicadas en el ciclo de vida completo del sistema. En esta norma se definen los requisitos para el hardware relacionado con la seguridad y para el sistema en su totalidad.

Esta norma se ocupa de la evidencia que es necesario presentar para la aceptación de los sistemas relacionados con la seguridad, especifica aquellas actividades del ciclo de vida que deben realizarse antes de la fase de aceptación, seguidas de aquellas actividades adicionales planeadas que se tienen que realizar después de la fase de aceptación. Se requiere por lo tanto la justificación de seguridad para el ciclo de vida completo

- EN 50164-3 Componentes de protección contra rayos (LPC)
Esta Norma Europea especifica los requisitos específicos los requisitos a aplicar a los descargadores de aislamiento para sistemas de protección contra rayos. Se tendrá presente para la selección de equipos que deban ser instalados a lo largo del corredor férreo del sur y que deban tener conexión eléctrica con cuartos de control en las estaciones.
- EN 61643-21 Dispositivos de protección contra sobretensiones de baja tensión - Parte 21: Dispositivos de protección contra sobretensiones en circuitos conectados a redes de telecomunicaciones y señalización – Requisitos de rendimiento y métodos de ensayo.

Aplica para la selección de Protecciones para Equipos que corresponden a los sistemas de Telecomunicaciones del Sistema a implementar.

- IEC 60297-3-100 Estructuras mecánicas para equipos electrónicos
Especifica las dimensiones básicas de los paneles frontales, subracks, chasis, racks y gabinetes. Las normas asociadas a la serie de IEC 60297-3 proveen dimensiones detalladas para partes específicas de los equipos, donde las dimensiones básicas son usadas como una interface a otras partes asociadas. Se cita esta norma con el fin de ser cuidadoso en la selección de racks correspondientes a los sistemas de Señalización y Telecomunicaciones u otros racks ubicados en el Centro de Control.
- ANSI/TIA/EIA568-B.3-2000 “Optical Fiber Cabling Components Standard” TIA-607-B-2011 Generic Telecommunications Bonding and Grounding (Earthing) for Customer. (Estándar de componentes de cableado de fibra óptica” TIA-607-B-2011 Conexión y puesta a tierra de telecomunicaciones genéricas para el cliente. Podrá ser citada en la preselección del tipo de cableado de fibra óptica a implementar en el corredor férreo del sur.
- ISO/IEC 24764:2010 Information technology -- Generic cabling systems for data centers. (Tecnología de la información: sistemas de cableado genéricos para centros de datos) Podrá ser citada en la preselección del tipo de cableado de los Centros de Datos a implementar en el corredor férreo del sur.
- IEEE 1202-06 Standard for Flame-Propagation Testing of Wire and Cable. Estándar para pruebas de propagación de llama de cableado. Podrá ser citada en la preselección del tipo de cableado, que cuente con características técnicas de seguridad para casos de incendio, evitando que se propague el fuego y el humo.

Instituto de Desarrollo Urbano

5.3.1.1. Centro de Control de Operaciones del Sistema PLMB

El Puesto Central de Control-PCC de la Primera Línea del Metro de Bogotá, estará ubicado en la zona de la estación de la Calle 26, y es el destinado dentro de la línea PLMB para proveer la gestión centralizada de todas las operaciones del metro de forma automática y sistematizada.

Dentro de las tareas principales efectuadas al interior del PCC se encuentran:

- Optimizar en tiempo real la oferta de transporte en condición nominal o degradada;
- Permitir operar cumpliendo con la seguridad de las personas y de los equipos;
- Supervisar el estado de funcionamiento del sistema de transporte;
- Asegurar la energización, ahorrando la energía;
- Optimizar la utilización de todos los equipos de estación al servicio de los clientes
- Informar al cliente sobre los servicios programados

- Permitir la comunicación en las estaciones y en los trenes entre el PCC y los pasajeros

El Centro de Control cuenta con espacios técnicos de CTBC, PCC Scada, C. Baterías, UPS's, Billetaje, sala técnica de servidores, sala de crisis, oficina para el director de operaciones y baños accesibles para personas con discapacidad física y distribuidos para género masculino y femenino.

El Puesto Central de Control (PCC) es el centro neurálgico del conjunto de la línea. Este tiene como objetivo principal garantizar el funcionamiento seguro, fiable y eficaz de la línea y proveer una oferta de transporte que cumpla con los horarios predefinidos.

El PCC funciona las 24 horas del día todos los días del año, durante el servicio comercial y durante la circulación de trenes de mantenimiento por la noche. El PCC se ubica en un edificio común a la estación de la Calle 26.

El personal del PCC controla y supervisa continuamente los movimientos de los trenes y gestiona la alimentación en energía de tracción. Está en contacto con la dirección, el proveedor de energía eléctrica y cuando es necesario, se pone en contacto con los servicios de urgencia (policía, bomberos, ambulancias...). Asimismo, el PCC está diseñado para controlar y supervisar el sistema de señalización. Está encargado también de la gestión de los sistemas de comunicación, necesarios para la operación de manera segura de la línea. En caso de interrupciones, el objetivo principal del personal de PCC es el de gestionar los incidentes y evitar su propagación, teniendo siempre como prioridad la seguridad de los pasajeros y del personal. Luego, trabajarán para reestablecer la operación normal de la línea en el plazo más corto posible. El sistema PCC agrupa los equipos y sistemas que proveen una capacidad de gestión centralizada de las operaciones del metro. Estos están protegidos contra las consecuencias de un fallo en la alimentación eléctrica. Las pérdidas de potencia o cambios en la fuente de alimentación no deberán generar la pérdida de seguridad del sistema de señalización

Para la PLMB, el PCC reúne los servicios necesarios para cumplir con los objetivos de Calidad de servicio, Seguridad y Desempeño.

Para cumplir con los objetivos del PCC, los subsistemas siguientes deben ser operados desde el PCC:

- El ATS (incluyendo el control y mando de la señalización);
- Los sistemas SCADAs que proveen el control y mando de varios equipos en las estaciones y en los trenes (energía, puertas de andén, escaleras, ascensores, detectores de incendio, ...) Nota: el control y mando de equipos tal como puntos de acceso, detectores de intrusión, cámaras... es efectuado por los sistemas Control de Accesos, CCTV, ...;
- Megafonía;
- Cronometría;

- Información al Viajero;
- CCTV;
- Control de Accesos;
- Billetaje;
- Interfonía;
- Telefonía;
- Radiocomunicaciones y Telecomunicaciones (Red RMS, incluso red inalámbrica).

Los objetivos de calidad de servicio, seguridad y desempeño asignados al sistema PCC necesitan además un nivel alto de integración entre los subsistemas ubicados en el PCC:

- Integración funcional basada en servicios comunes a todos los subsistemas del PCC;
- Integración ergonómica basada en una IHM integrada. La integración funcional, mediante servicios comunes a todos los subsistemas, asegura:
 - Una gestión comuna de las alarmas;
 - Una gestión integrada de los perfiles de operadores;
 - Una gestión centralizada de los utilizadores y del “login”: SSO (single sign on);
 - Acciones operacionales coordinadas entre los subsistemas. Por ejemplo:
 - Una alarma de detección provoca la visualización del flujo video adaptado;
 - Una alarma falla de energización provoca la parada de los trenes en estación;
 - Una alarma de falla de puerta de andén provoca la visualización del flujo video.

La integración ergonómica basada sobre una IHM integrada asegura:

- La homogeneidad gráfica y ergonómica entre los subsistemas
- La integración funcional (por ejemplo: Debe ser posible establecer una conexión de Interfonía con los pasajeros de un tren desde el símbolo grafico del tren en la imagen ATS).
- Un video Wall mezclando informaciones de tráfico, energía, CCTV, ...

5.3.1.1.1. Organización del edificio del PCC

Las características operativas para la operación de la línea 1 requieren la implementación de las siguientes salas en el edificio del PCC:

- Sala de Operadores: La sala de operadores ubicada en el Puesto Central de Control de la Operación (PCC) constituirá los medios integrados de control y supervisión de

todo el sistema de transporte de la línea 1 de Bogotá. El PCC será compuesto de 6 puestos de operadores y 1 TCO.

- Sala crisis: Esta sala, ubicada cerca de las salas principales PCC permite reunir a todos los responsables involucrados en la gestión de una crisis. Esta sala también se empleará para proveer comunicación directa entre el PCC de metro Bogotá y el PCC de SITP o Transmilenio. Una comunicación directa entre el PCC del Metro y el PCC del SITP o Transmilenio será implementada por el Contratista.
- Sala de visita PCC: Esta sala permite organizar visitas de los PCC ofreciendo a los visitantes una vista de la(s) sala(s).
- Sala de Mantenimiento: Ésta consiste en un puesto de trabajo que permite gestionar las operaciones de mantenimiento (creación y seguimiento de las órdenes de trabajo, planificación de las operaciones de mantenimiento, etc.). Por otra parte, el sistema PCC integra;
 - Un puesto de maniobra en el taller (PMT) ubicado en el patio-taller: Los talleres incluyen los edificios administrativos y técnicos. Un Puesto de Maniobra Taller (PMT) para manejar la vía de pruebas, las vías de transferencia Taller/Cocheras y las vías del Taller.
 - Un PCC de respaldo capacitación: En caso de una pérdida total o parcial de las funciones del PCC ya sea por evacuación del PCC principal, incendio, inundación de salas técnicas, la operación podrá seguir desde el PCC de respaldo. El PCC de respaldo se utiliza también para capacitar al personal y desarrollar y probar una nueva versión del sistema. El PCC de respaldo tendrá 3 puestos de operador.

5.3.1.2. Propuesta del Puesto de Mando del Sistema Regiotram Occidente

El Puesto de Mando estará ubicado en las Cocheras en el PK 5+440, y será el punto neurálgico del sistema de transporte, donde se concentra toda la información de los diferentes subsistemas que lo conforman para poder llevar a cabo el control y supervisión de los mismos.

El Puesto de Mando Centralizado (PMC) dispone de los siguientes espacios diferenciados:

- Sala de Operación en tiempo real: donde se supervisa, en tiempo real, la operación de la línea y los movimientos de los vehículos en los talleres y en las cocheras
- Sala de Operación en tiempo diferido: donde se realiza la planificación de la operación, la extracción de estadísticas, consulta de históricos, etc.
- Sala de Mantenimiento: donde se realiza las funciones específicas de mantenimiento de los sistemas.
- Sala Técnica de equipos: donde se ubican los servidores, pasarelas de

comunicaciones, nodos de comunicación, nodo central radio TETRA, etc. de los diferentes sistemas de la explotación.

5.3.1.3. Puesto Central de Control del Sistema TCV (Tren de Cercanías de Valle del Cauca)

El diseño del Puesto de Control Central PCC del sistema TCV, se ajustará al conjunto de las instalaciones ferroviarios existentes en el sistema TCV y a las herramientas de control y telemando que se integrarán en las salas operativas, funcionales y de control del sistema Tren de Cercanías del Valle del Cauca TCV. El objetivo del diseño será el de clarificar y simplificar el funcionamiento y el control de estas instalaciones.

El objetivo principal del Puesto de Control Central PCC, será conseguir y aplicar de manera centralizada el monitoreo, supervisión, gestión y control remoto de todos los sistemas, subsistemas, componentes y equipamientos del sistema ferroviario, consiguiendo, al mismo tiempo, cumplir todas las exigencias aplicables a un conjunto de sistemas de control modernos con parámetros de calidad, seguridad y rendimiento exigibles en la explotación del tráfico ferroviario.

Todas las informaciones y datos obtenidos por los equipamientos de los diferentes subsistemas serán enviados y centralizados en el Puesto de Control Central PCC, donde se encontrarán ubicados los equipos y puestos de operación necesarios para llevar a cabo la supervisión y gestión remota de los equipos, pertenecientes a las distintas áreas temáticas controladas (energía, tráfico, seguridad, señalización, comunicaciones, etc.).

Para determinar las necesidades de cada uno de los sistemas, subsistemas y/o componentes que deberán estar presentes con sus equipamientos en el PCC, se tendrá en cuenta la filosofía de control de operaciones del PCC, la cual se basará en la gestión centralizada de las siguientes funciones:

- Monitoreo, Supervisión y Control de la Operación de los Trenes de Pasajeros y de Carga si los hubiere.
- Adquisición de datos sobre el comportamiento de los diferentes sistemas, subsistemas y/o componentes del sistema, incluyendo el suministro eléctrico.
- Gestión de los Sistemas de comunicaciones (radio, telefonía, megafonía, sistemas de información a los usuarios, Circuito Cerrado de Televisión – CCTV, etc.).
- Gestión de los sistemas de control de pasajeros, o sistema de peajes del sistema TCV, y si se requiere la gestión de su integración con otros modos y medios de pago del transporte público de la región o área de influencia del corredor ferroviario, de acuerdo en la documentación contractual del proyecto que indica que *“se abre la posibilidad de que en este PCC se integren los sistemas y funciones del futuro sistema integrado de recaudo (SIR), sea además este PCC compartido o integrado con el PCC del MIO”*.
- Análisis y gestión de los Informes de fallas e incidencias en el sistema y desarrollo y coordinación de las actividades necesarias para la gestión del mantenimiento.

- Gestión de incidentes y emergencias. Se analizará la posibilidad de integración con los sistemas de emergencia de la región
- Gestión de las Interfaces técnicas, operacionales, funcionales entre los sistemas vinculados al PCC y/o interfaces organizacionales con otros proveedores de servicios de transporte.
- Control de acceso y actividades de monitoreo de la seguridad asociadas al Sistema Tren de Cercanías del Valle

5.3.1.4. Análisis de la Información para el Centro de Control

Es muy importante para este proyecto de prefactibilidad del Corredor Férreo del Sur, el estudio de la información proveniente de la Primera Línea del Metro de Bogotá, debido a que la propuesta inicial estará basada en el Control de la Operación desde un mismo Centro de Control para los sistemas férreos de la Bogotá Región, previendo así un sistema compatible e interoperable desde su etapa inicial y estimando que será el primer Centro de Control para Sistemas Férreos de la ciudad, considerando que este sistema se encuentra en etapa de diseños y construcción.

Se observa que la información recopilada del Centro de Control de la PLMB ubicada en el documento Anexo 1 - Hoja de Términos y Resumen Ejecutivo de la PLMB, es considerada suficiente para el desarrollo a nivel de prefactibilidad de un Centro de Control que cumpla con las consideraciones técnicas del proyecto.

Entre las instalaciones principales del PCC para la PLMB se encuentra el PCC de respaldo, incluida también una sala de crisis en casos de pérdidas de comunicación o alguna emergencia que se presente. La sala de crisis no se encuentra incluida en las consideraciones técnicas del proyecto del Corredor Férreo del Sur, sin embargo, será objeto de estudio para su inclusión dentro de la propuesta técnica a nivel de prefactibilidad.

En lo referente al documento PUESTO CENTRAL DE CONTROL (PCC) propuesto para el sistema del Tren de Valle de Cauca, se puede apreciar que se trata de un documento básico que se encuentra en etapa de factibilidad, sin embargo, podrá ser utilizado como base para el prediseño del Centro de Control de Operaciones del Corredor Férreo del Sur. En este documento se hace relación a las siguientes funcionalidades del Centro de Control:

- Supervisión de la señalización ferroviaria mediante el Sistema de Ayuda a la Explotación (SAE o ATS (Automatic Train Supervision)),
- Supervisión de la energía y la alimentación eléctrica a través del sistema SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition),
- Supervisión de los equipos electromecánicos, que puede integrarse en el SCADA,
- Control de los sistemas de telecomunicaciones (información de los viajeros, sonorización, videovigilancia, control de acceso, etc.) y de comunicación con los usuarios, los conductores y los mantenedores de la red,
- Respaldo para la explotación y el mantenimiento, especialmente a través de un sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO).

Se describe lo que se pretende del Centro de Control y de los cuales se desplegará todos los sistemas necesarios para llevar a cabo estas funcionalidades, labor que será llevada a cabo por la compañía responsable del desarrollo de los diseños.

En cuanto a la Interoperabilidad con el sistema MIO, se puede comparar con la integración necesaria entre el sistema del Corredor Férreo del Sur y la PLMB, incluso con Regiotram Occidente, y estudiar cómo puede ser una manera óptima de integración de ambos sistemas desde un mismo Centro de Control.

En cuanto al planteamiento de un Centro de Control de Respaldo, se observa como una buena práctica para la operación, porque se garantiza un control permanente del sistema y se disminuye el riesgo de pérdidas de información mediante el uso de la redundancia del sistema, aunque es claro que desde el requerimiento inicial en la prefactibilidad, se tiene presente en la propuesta, la inclusión de un Centro de Control de Respaldo para el Sistema del Corredor Férreo del Sur, pero los documentos estudiados como, Regiotram Occidente y la PLMB no presentan detalles suficientes al respecto.

De manera general, se identificaron algunas indefiniciones de las funcionalidades mínimas y el hardware necesario en el puesto de mando central.

Para el Centro de Control se detectó la necesidad de especificar:

- Los modos de operación, perfiles y roles de los operadores.
- Las salas que se requieren (Operación, técnicas, administrativas).
- El requerimiento de equipos en cada sala de trabajo.
- Eventos y alarmas.

De igual forma, es necesario desarrollar:

- Especificaciones que incluyan todos los permisos ante las autoridades y entidades involucradas (Contratación de servicios de telefonía e Internet, gestión de permisos y licencias) antes de su puesta en servicio.
- Especificaciones de los requerimientos de ubicación, arquitectura, requerimiento de espacios, ubicación de locales técnicos, distribución de equipos, canalizaciones en estaciones y línea.

A pesar de no estar especificado aun en el Corredor Férreo del Sur, la implementación de un sistema de señalización en base a las comunicaciones, el equipo de señalización por sus elevados requisitos de seguridad debe tener su propio sistema de radio comunicación, exclusivamente para la comunicación de datos bidireccional tren-vía, según el tipo de sistema a proponer, por lo tanto, se debe especificar en la siguiente etapa la tecnología y la banda en que operará de acuerdo a las normas y disponibilidades locales, esta observación será común con el sistema de señalización.

5.3.2. Sistemas de alimentación de Energía Eléctrica (SER, SET y CTE).

Se presenta a continuación la normativa nacional e internacional más significativa, sin ser los listados de carácter limitativo. En la fase de diseños debe darse cumplimiento a toda la normatividad nacional e internacional, en sus últimas versiones.

- **RETIE:** Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas para la República de Colombia.
Busca establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Estas prescripciones parten de que se cumplan los requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos.
- **NTC 2050:** Código eléctrico colombiano
Es una norma acorde a la invención de tecnologías en un ámbito global relacionadas a la eficiencia energética, sin dejar de lado las técnicas y materiales que se pueden implementar en las instalaciones eléctricas.
- **Resoluciones de la CREG:** Comisión de Regulación de Energía y Gas de Colombia.
Se encarga de regular los servicios públicos de energía eléctrica, gas combustible y combustibles líquidos promoviendo la disponibilidad de una oferta suficiente y confiable para atender de manera satisfactoria y eficiente las necesidades de los usuarios, en armonía con la política pública.
- **RETILAP:** Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.
Establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: Los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados por la instalación y uso de sistemas de iluminación. Será indispensable citar este reglamento para la implementación desde la etapa de prediseños del Corredor Férreo del Sur, debido a que se precisa también mejorar espacios públicos aledaños al trazado.
- **EN 50119** Aplicaciones ferroviarias. Líneas aéreas de contacto- para tracción eléctrica.

Esta Normativa es de aplicación en sistemas de líneas aéreas de contacto en ferrocarriles pesados, ferrocarriles ligeros, trolebuses y ferrocarriles industriales pertenecientes a operadores públicos y privados.

Es de aplicación tanto en nuevas instalaciones de sistemas de líneas aéreas de contacto como en la renovación total de sistemas existentes de líneas aéreas de contacto. La Norma contiene los requisitos y ensayos para el proyecto de líneas aéreas de contacto, los requisitos para las estructuras, así como sus cálculos y verificaciones estructurales, y los requisitos y ensayos para el proyecto de conjuntos y partes individuales.

- EN 50121 Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética.
La infraestructura ferroviaria tiene un complejo entorno electromagnético formado por muchos sistemas de señalización, tracción, telecomunicaciones y comunicaciones de radio.

La Compatibilidad electromagnética (CEM) entre los sistemas eléctricos y electrónicos es un requisito esencial para el funcionamiento seguro y fiable del equipo. Es muy evidente que la interferencia causada por los sistemas de tracción puede perturbar la señalización, con consecuencias potencialmente peligrosas.

El principal problema del carril en torno a la compatibilidad electromagnética es la función diferenciada de los carriles. Originalmente los rieles eran exclusivamente un sistema de guiado mecánico, pero la llegada de la electricidad y el crecimiento tecnológico ha hecho de la infraestructura ferroviaria un sistema complejo en el que interactúan diferentes equipos. La presencia de equipos de tecnología avanzada hace que el problema de la interferencia sea una variable extremadamente importante.

- EN 50122 Aplicaciones ferroviarias. Medidas de protección relativas a la seguridad eléctrica, puesta a tierra y circuito de retorno.
Esta norma europea especifica los requisitos para las disposiciones de protección relativas a la seguridad eléctrica en instalaciones fijas asociadas a sistemas de tracción de corriente alterna y/o corriente continua y para cualquier instalación que pueda verse amenazada por el sistema de alimentación de tracción.

También se aplica a todos los aspectos de las instalaciones fijas que son necesarios para garantizar la seguridad eléctrica durante los trabajos de mantenimiento dentro de los sistemas de tracción eléctrica.

- EN 50123 Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Aparata de corriente continua.

Esta norma cubre los requisitos particulares para pararrayos para uso específico en instalaciones fijas de sistemas de tracción de corriente continua. Se trata de pararrayos compuestos por una o más resistencias no-lineales, que pueden estar en serie, con explosores simples o múltiples.

Los limitadores para baja tensión se tratan dentro del capítulo 5. Se trata de dispositivos de protección utilizados principalmente en instalaciones fijas de

sistemas de tracción de corriente continua para conectar determinadas partes del circuito, cuando a causa de una situación anormal, la tensión que hay en el dispositivo rebasa un valor límite predeterminado. Pueden estar asociados con otros dispositivos tales como contactores o dispositivos autorepositores. No se emplean en general para ofrecer protección contra sobretensiones.

- EN 50128 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección de ferrocarril. La Norma EN-50126 considera los sistemas en su concesión más amplia, mientras que la Norma EN-50129 se refiere al proceso de aprobación para sistemas particulares que pueden exigir dentro del sistema global de protección y control del ferrocarril. Esta norma se concentra en los métodos que se necesitan utilizar para suministrar software que satisfaga los requisitos de integridad de la seguridad definidos por las normas antes mencionadas.

El concepto de clave de esta norma es el de niveles de integridad de seguridad del software. Cuanto más peligrosas sean las consecuencias de un fallo de un software, más alto será el nivel de integridad de seguridad exigido al mismo.

- EN 50163 Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de las redes de tracción.

Esta norma europea especifica las características principales de las tensiones de alimentación de las redes de tracción, tales como instalaciones fijas de tracción, incluyendo dispositivos auxiliares alimentados por la línea aérea de contacto, y el material rodante.

- EN 50329 Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Transformadores de tracción.

Esta Norma se ocupa de las características específicas de los transformadores de tracción usados en subestaciones de tracción o a lo largo de la vía para el suministro de energía a los sistemas de tracción de corriente alterna y de corriente continua o para dotar de energía a los servicios auxiliares. Los transformadores de tracción pueden ser:

- Transformadores de tracción monofásicos;
- Transformadores-rectificadores monofásicos, trifásicos o multifásicos o transformadores convertidores/inversores para líneas de contacto de corriente alterna o corriente continua;
- Auto transformadores monofásicos, para el suministro de potencia de tracción;
- Transformadores auxiliares monofásicos, o trifásicos en tensión de alimentación de tracción.

- IEC 60850. Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de los sistemas de tracción.

Especifica las principales características de las tensiones de alimentación de los sistemas de tracción, tales como instalaciones fijas de tracción, incluidos los dispositivos auxiliares alimentados por la línea de contacto, y material rodante, para uso en vías férreas; sistemas de transporte masivo guiado; sistemas de transporte de materiales

- IEC-61850:2020 Redes y Sistemas de Comunicación para la automatización de la red eléctrica.

Automatismo Local por comunicación entre equipos, en este caso, control y automatización de las redes eléctricas del sistema férreo mediante sistemas de comunicación. Aplicable Sistema SCADA para el control de las subestaciones eléctricas del sistema.

5.3.2.1. Composición Técnica del Sistema de Energía del proyecto Regiotram Occidente por Empresa Férrea Regional.

El suministro de energía para el sistema de transporte se ha diseñado considerando tres partes fundamentales: Subestaciones de Alumbrado y Fuerza (SAF's), Subestaciones de Rectificación (SER) y Catenaria.

La descripción de las Subestaciones de Alumbrado y Fuerza incluye la alimentación a Bloques Técnicos.

La descripción de las Subestaciones de Rectificación tiene como frontera el cable de alimentación a catenaria, fijado al poste o apoyo del punto de inyección.

La descripción de la Catenaria comienza en el equipo denominado "punto de inyección" e incluye el circuito de retorno hacia las SER.

El suministro de energía se complementa con una descripción del sistema de puesta a tierra y sistema colector de corrientes vagabundas.

El sistema de transporte tomará alimentación de la red eléctrica de Media Tensión de la compañía suministradora, desde puntos cercanos a la traza ferroviaria del Regiotram, como se muestra en la siguiente figura:

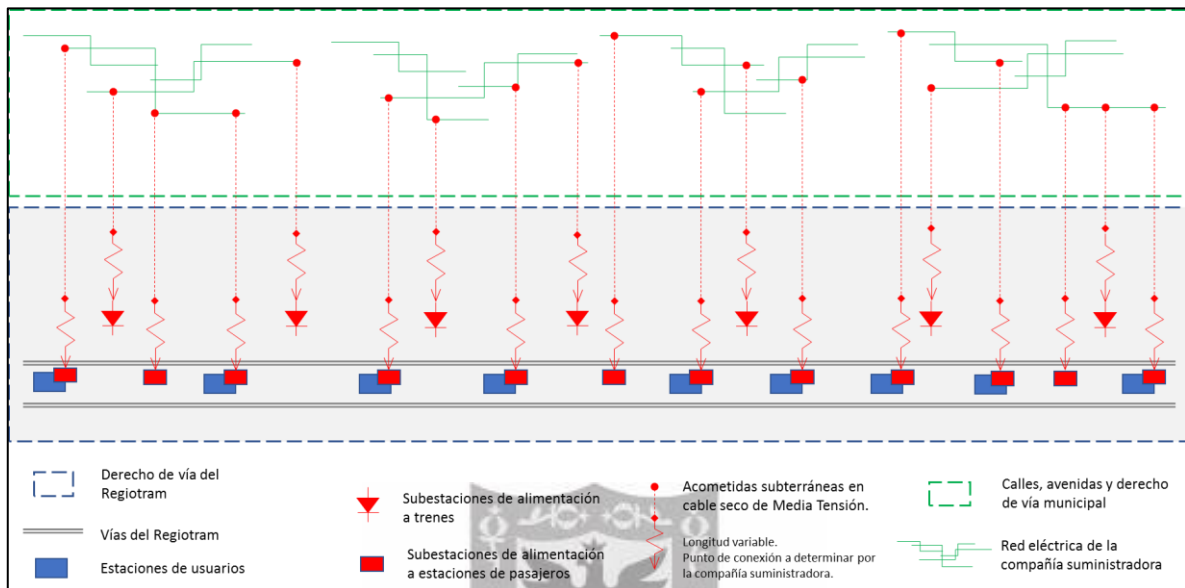


Ilustración 24 Esquema de Acometidas en Media Tensión

Fuente: Anexo 14 del Proyecto Regiotram Occidente

La compañía suministradora, en función de sus estudios de factibilidad y disponibilidad, determinará los puntos de conexión a su red de distribución en Media Tensión.

Así, la tensión de alimentación propuesta por las compañías eléctricas será de 11.4 kV.

Una vez asignado el punto de conexión a la red de Media Tensión, se construirá sendos bancos de ductos o trincheras, subterráneos, para canalizar los cables de acometida, desde la red de distribución, hasta la respectiva subestación del Regiotram.

Las acometidas de Media Tensión alimentarán tanto las Subestaciones de Alumbrado y Fuerza (habrá una en cada estación de pasajeros integrado a los bloques técnicos), como las Subestaciones de Rectificación (también llamadas subestaciones de tracción).

Las acometidas tendrán una configuración de cable monopolar de cobre o aluminio, aislado en XLPE, de baja emisión de humos y cero halógenos, con un calibre mínimo de 240 mm².

5.3.2.1.1. Ubicación de las SER en el proyecto

La ubicación de las Subestaciones de Rectificación (SR) a lo largo de la línea y tomadas en cuenta para el Proyecto de referencia es la siguiente:

Subestación de Rectificación	pk	Carga (kW)	Arquitectura propuesta
SR-1 Paloquemao (PAQ)	1+770	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u

Subestación de Rectificación	pk	Carga (kW)	Arquitectura propuesta
SR Talleres (TYC)	5+180	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-2 Montevideo (MON)	6+220	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-3 Catam (CAT)	11+740	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-4 Martínez Rico (MTZ)	17+220	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-5 Santa Ana (SAA)	22+720	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-6 Madrid (MAD)	27+900	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW
SR-7 Río Checua (CHE)	33+580	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW
SR Talleres Corzo (TCO) *	35+840	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW
SR-8 Facatativá (FAC)	38+560	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW

Fuente: Anexo 14 Proyecto Regiotram Occidente

* La SR Talleres El Corzo no se consideró en la simulación, por estar completamente independiente del resto de la línea.

Especificación general de las SER

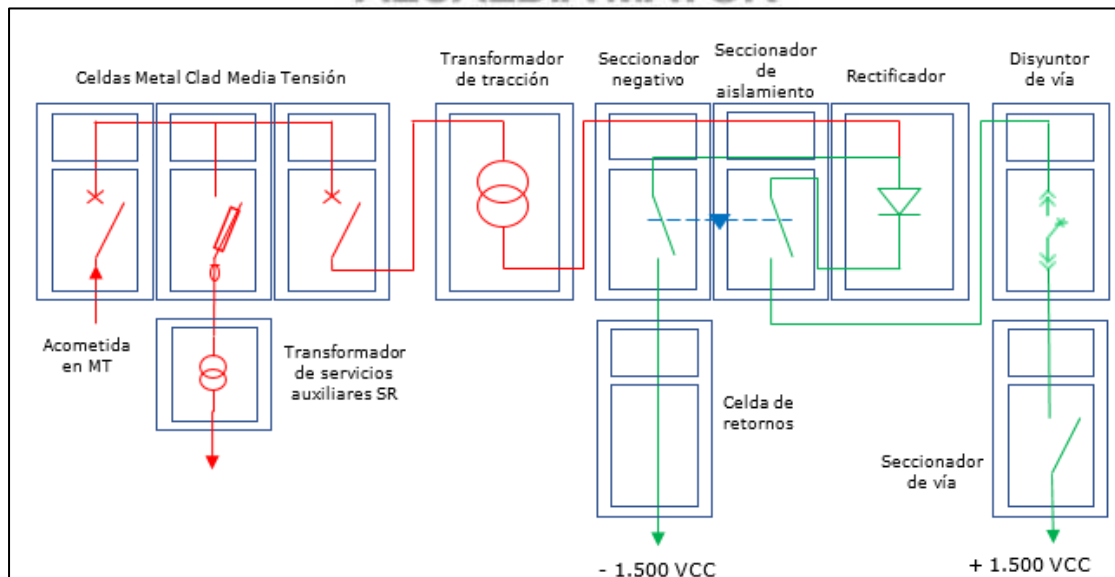


Ilustración 25 Especificación general de las SER

Fuente: Anexo 14 Proyecto Regiotram Occidente

5.3.2.2. Composición técnica del proyecto de la PLMB por la FDN y Metro-Bog

5.3.2.2.1. *Consideraciones Generales*

Como resultado del estudio conjunto sobre la alimentación eléctrica para la operación de la Primera Línea del Metro entre la Empresa Metro de Bogotá, Codensa y Metro de Santiago, así como también de los análisis técnicos y económicos, elaborados por el Consorcio Metro-Bog, se convino que la alimentación eléctrica será a 115 kV, con tres puntos de conexión denominados Subestaciones Receptoras (SER) de alta tensión. En este sentido se prevé la ampliación y expansión, en predios contiguos, de tres subestaciones receptoras de Codensa conectadas a la red de 115 KV del sistema nacional de distribución, sin obligación de comprar el suministro de energía a Condesa, las cuales estarán localizadas en áreas contiguas al trazado del Metro, y su proceso constructivo y de operación estará enmarcado dentro de la normativa legal y ambiental vigente para este tipo de infraestructuras.

5.3.2.2.2. *Modos Degradados*

El Sistema de Alta Tensión y de media tensión suministra energía a todas las cargas eléctricas de la línea para los siguientes modos:

- En modo normal.
- En modo degradado “N-1”, es decir una falla* de un elemento eléctrico.
- En modo degradado “N-2”, es decir una falla* de dos elementos eléctricos.

*Una falla puede parar cualquier equipo eléctrico.

Por ejemplo, con una doble falla eléctrica en un mismo anillo MT, el Sistema de Alta Tensión debe permitir mantener alimentación de todas las cargas en condiciones normales. Es únicamente a partir de 3 elementos del sistema eléctrico simultáneamente en falla (N-3) que se necesitara una operación de trenes restringida (limitación de velocidad, aumentó del intervalo) o un paro del servicio de trenes.

5.3.2.2.3. *Arquitectura y distribución de la Alta Tensión*

El Sistema de Alta Tensión incluye las subestaciones receptoras conectadas a la red 115 kV del proveedor de energía (Codensa) para alimentar la línea del proyecto a través los anillos de distribución. El Sistema de Alta Tensión incluye 3 subestaciones receptoras (SER) y 2 anillos de distribución Media Tensión (MT). Los anillos de distribución alimentan las Subestaciones de Tracción (SET) y los Centros de Transformación para el suministro de la energía auxiliar (CT) de las estaciones, del PCC y del patio/taller. La arquitectura general del Sistema Alta Tensión no cambia según las fases 2022/2050 en consideración del alcance físico de la etapa 1 - 2022. El Sistema de Alta Tensión tiene espacio y equipo para las extensiones de las etapas 2 - 2030 y 3 -2050 y diseñado de acuerdo con la fase la

más cargada, fase 2050 para este proyecto. Es decir que cada SER incluye reservas de potencia para la fase 2050.

5.3.2.2.4. Subestación Receptora (SER)

La SER permite la alimentación de los dos anillos de distribución en modo normal y degradado:

- Con la conversión de la energía del proveedor a un nivel de tensión de distribución;
- Con la redundancia de los equipos adecuados;
- Con la presencia de equipos de emergencia. El Sistema de Alta Tensión incluye tres SER ubicadas:
 - Cerca de la subestación existente de Codensa en Chíchala;
 - Cerca de la subestación existente de Codensa ubicado en Calle 1;
 - Cerca de la subestación existente de Codensa ubicado en Calle 67

La tensión nominal del proveedor de energía es de 115 kV y la tensión nominal de distribución en Media Tensión es de 34,5 kV.

Cada SER tiene un solo transformador de potencia 115 kV/34,5 kV, dos transformadores auxiliares y una sola celda de medida para la facturación.

5.3.2.2.5. Anillos de distribución

El sistema de distribución tiene 2 anillos de media tensión. Cada anillo está conectado a los tres SER.

Los anillos de distribución permiten la alimentación en energía de las SET y los CT a lo largo de la línea en modo normal y degradado.

Los CT y las SET tienen barras colectoras diferentes. Cada barra colectora tiene dos interruptores (Circuit - breaker) para la llegada y la salida del anillo de media tensión.

Cada anillo MT alimenta las SET y los CT de tal manera que, en caso de dos equipos defectuosos (modo N-2) en cualquier parte de la red de alta o media tensión, las SET y los CT son alimentados en energía normalmente. La tensión nominal de los anillos de distribución es de 34,5 kV. Cada anillo esta seccionado con interruptores (Circuit breaker) y debe funcionar en bucle abierto. En modo normal, los anillos alimentan la línea desde las tres SER.

Para el diseño de la Primera Línea del Metro de Bogotá se ha analizado la incidencia de los equipos ferroviarios sobre otros sistemas cercanos (ej. redes eléctricas de Alta tensión,

equipos de radio diagnóstico, etc.) cercanos o fuera del Proyecto, para lo cual se ha tenido en cuenta que los sistemas deben considerar y dar cumplimiento a la norma EN 50121 de Aplicaciones ferroviarias, compatibilidad electromagnética. En todo caso, previo a la fase de operación del metro se deberá obtener resultados de pruebas y certificación de los equipos.

5.3.2.2.6. *Alimentación Tracción 750V*

El sistema de tracción está diseñado de tal manera que se respetan las exigencias de la operación de la PLMB y para funcionar y mantenerse de tal manera que se respetan los valores de confiabilidad y de disponibilidad.

El sistema de tracción está diseñado de tal manera que la regeneración de los trenes está optimizada. La energía de regeneración será utilizada primero para la tracción o los auxiliares de los otros trenes de la línea. Cuando no es posible, esta energía es absorbida por las resistencias instaladas a bordo de los trenes.

El sistema de tracción está conectado a un lado a los anillos de distribución y al otro lado al tercer riel para la alimentación 750 V y los carriles de rodadura para el retorno del negativo. El sistema de tracción suministra la corriente al tercer riel y permite el retorno de la corriente al rectificador a través de cables negativos conectados a los carriles de rodadura. Los auxiliares de las SET están alimentados por los centros de transformación (CT).

5.3.2.3. Análisis de la Información para el Sistema de Energía

En base a la información obtenida de los proyectos:

- Regiotram de Occidente (Nivel de Factibilidad)
- Primera Línea del Metro de Bogotá (Nivel de Diseño)

Siendo ambos proyectos cercanos (ciudad de Bogotá) a la propuesta del Corredor Férreo del Sur, inicialmente se observan diferencias importantes en cuanto a los niveles de energía necesarios para la alimentación tracción y también el tipo de sistema a utilizar para la recolección de corriente de parte del material rodante. Teniendo para la PLMB una tensión de 750VCC con un sistema de tercer riel, con recolección por frotación nivel de altura bajo y el Sistema Regiotram Occidente propone la recolección mediante un hilo aéreo de contacto con un nivel de tensión de 1500VCC, este tipo de diferencias impide la aplicación de la interoperabilidad entre ellos y para la propuesta de Corredor Férreo del Sur se deberá estudiar la posibilidad más adecuada y la interoperabilidad con el sistema de mayor conveniencia para la explotación.

La alimentación de la PLMB está prevista desde tres Subestaciones Principales que suministrarán de Alta Tensión a las subestaciones del Sistema propio ubicadas así:

- 1 Cerca de la subestación existente de Codensa en Chíchala;
- 2 Cerca de la subestación existente de Codensa ubicado en Calle 1;
- 3 Cerca de la subestación existente de Codensa ubicado en Calle 67.

Contará con un sistema de doble anillo para la distribución.

Mientras que el Sistema Regiotram Occidente no define aun las subestaciones de suministro de energía, pero si menciona que el suministro necesario será a Media Tensión con un nivel de 11,4KV.

No se encontró información necesaria para justificar el dimensionamiento de la potencia de cada subestación de rectificación y el dimensionamiento de los conductores de catenaria, es decir, el estudio de cargas generalizado.

Con relación a las acometidas de Media Tensión y Alta Tensión, se detectó la necesidad de analizar la red de las compañías proveedoras, para verificar que los puntos de enganche tengan la fiabilidad y la capacidad suficiente para alimentar al sistema, aspecto que será coordinado con ENEL CODENSA. Esta diligencia ya ha sido realizada ante la entidad mencionada y esta ha decidido instalar inicialmente mesas de trabajo previas a la entrega de la información solicitada.

La propuesta para el suministro de energía para el Corredor Férreo del Sur deberá estar basada en una solución acorde con la disponibilidad de las Subestaciones del servicio público existente, estudiando inicialmente los niveles de capacidad y entregando el cálculo la carga al ente de suministro para su evaluación.

5.3.3. Sistema de Señalización y Control de Trenes.

Entre los principales organismos internacionales que rigen el Sistema principal de Seguridad y Control de Trenes o Señalización Ferroviaria, se presentan los siguientes:

- Organización Internacional de Normalización (ISO);
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC);
- Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC);
- Normas Francesas (NF);
- Normas Alemanas (DIN);
- Normas Europeas (EN).
- RFC (Request For Comments, Peticiones de comentarios)

- ANSI. American National Standards Institute
- Manual de Normatividad Férrea del Ministerio de Transporte – Colombia.

Dentro de las anteriormente mencionados se destacan de forma más específica las siguientes normas:

- EN 50128: Railway applications. Software for railway control and protection systems (Aplicaciones Ferroviarias. Software para sistemas de protección y control de ferrocarriles). La Norma EN-50126 considera los sistemas en su concesión más amplia, mientras que la Norma EN-50129 se refiere al proceso de aprobación para sistemas particulares que pueden exigir dentro del sistema global de protección y control del ferrocarril. Esta norma se concentra en los métodos que se necesitan utilizar para suministrar software que satisfaga los requisitos de integridad de la seguridad definidos por las normas antes mencionadas.

El concepto de clave de esta norma es el de niveles de integridad de seguridad del software. Cuanto más peligrosas sean las consecuencias de un fallo de un software, más alto será el nivel de integridad de seguridad exigido al mismo

- EN 50129: Railway applications. Safety related electronic systems for signaling (Aplicaciones Ferroviarias. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización). Los sistemas relacionados con la seguridad para la señalización incluyen aspectos de hardware y software. A la hora de instalar sistemas completos relacionados con la seguridad, se deben tener en cuenta ambas partes implicadas en el ciclo de vida completo del sistema. En esta norma se definen los requisitos para el hardware relacionado con la seguridad y para el sistema en su totalidad.

Esta norma se ocupa de la evidencia que es necesaria presentar para la aceptación de los sistemas relacionados con la seguridad, especifica aquellas actividades del ciclo de vida que deben realizarse antes de la fase de aceptación, seguidas de aquellas actividades adicionales planeadas que se tienen que realizar después de la fase de aceptación. Se requiere por lo tanto la justificación de seguridad para el ciclo de vida completo

- EN 50159: Railway applications. Communication, signaling and processing systems. Safety-related communication in closed transmission systems. (Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento) Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Comunicación relacionada con la seguridad en sistemas de transmisión. Esta norma europea se aplica a los sistemas electrónicos de seguridad que utilizan un sistema de transmisión abierto para comunicación. Da los requisitos básicos necesarios para

obtener una transmisión segura entre equipos de seguridad conectados al sistema de transmisión abierto.

Las propiedades y el comportamiento del sistema de transmisión abierto solo se emplean para la definición de las prestaciones, pero no para la seguridad. Por lo tanto, desde el punto de vista de la seguridad, el sistema de transmisión abierto puede tener potencialmente cualquier propiedad, como diferentes medios de transmisión, almacenamiento de mensajes, accesos no autorizados, etc. el proceso de seguridad sólo deberá basarse en propiedades que hayan sido demostradas en el caso de seguridad.

- EN 50238: Railway applications. Compatibility between Rolling Stock and Train Detection Systems. (Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad entre material móvil y los sistemas de detección de trenes). El alcance de esta norma europea es describir un procedimiento para la aceptación mutua de material rodante para circular por rutas específicas. Describe los métodos de medida de las corrientes de interferencia, los métodos de medida de la susceptibilidad de los sistemas de detección de trenes, la caracterización de las fuentes de alimentación de tracción y el procedimiento de aceptación. El resultado del procedimiento de aceptación es un documento de justificación estructurado denominado "caso de compatibilidad", que documenta la evidencia de que se han cumplido las condiciones de compatibilidad.

5.3.3.1. Composición sistema Señalización Proyecto Regiotram de Occidente

5.3.3.1.1. *Consideraciones generales*

El sistema de señalización está basado sobre:

- una señalización lateral ferroviaria clásica,
- una señalización de tipo tranviaria en el Ramal Metro,
- ATP en tramos seleccionados para velocidad a partir de 70 km/h.

Las características del sistema presentadas en el párrafo siguiente permiten establecer una macha a vista en la casi totalidad del trazado basada sobre el respecto de la señalización y del respecto de la distancia entre los vehículos.

De hecho, el sistema de transporte comporte las siguientes características:

- Una línea recta y plana en la mayoría de su trazado permitiendo una buena visualización;
- Velocidades de operación de 30 y 50 km/h que permitan un tiempo de reacción a la

vista del tren precedente;

- Velocidades de operación de 70 y 100 km/h que necesitan un cantonamiento con control de franqueo;
- Un intervalo mínimo de operación de 4 min en el tramo Bogotá - Madrid 2, lo que es superior a todos los tiempos de recorrido entre estaciones, salvo Calle 26 – Carrera 30 pero donde la velocidad es reducida, y Catam – Funza 1.
- Un intervalo mínimo de operación de 12 min en el tramo Madrid 2 – Facatativá, lo que es superior a cualquier tiempo de recorrido entre estaciones.
- Por esas dos razones arriba, se puede establecer en operación que a la vista de un tren precedente se tendrá que bajar la velocidad de operación a 50 km/h desde 70 km/h y 30 km/h desde 50 km/h, sin alterar el desempeño de la operación.
- Al contrario, existen un número importante de pasajes a niveles, algunos cruzados a 100 km/h, y que necesitan protección. Por eso se propone implementar un control de franqueo en los pasajes a nivel con velocidad a partir de 70 km/h.

5.3.3.1.2. *Principios generales*

- La circulación nominal se hará en la vía 1 de la Calle 26 a Facatativá, y en la vía 2 de Facatativá a la Calle 26.
- La vía no está banalizada. Sin embargo, de la estación Madrid a la estación Cra. 68, estará señalizada para permitir circular en el sentido contrario, en el caso de indisponibilidad de la otra vía (principio de instalación permanente de contra sentido).
- Las zonas de maniobras son señalizadas para permitir los movimientos necesarios a la operación nominal y degradada (señales luminosas, detección de trenes, motorización y control de los aparatos de vía adaptados a las maniobras).
- Se prevén señales de cantonamiento, con control de franqueo, en las zonas con velocidad a partir de 70 km/h.
- En la zona de cocheras del PK5+440, se prevé una señalización específica para manejar el cruce con la línea de ferrocarril

5.3.3.1.3. *Modo de conducción*

Se presentan a continuación los principios de conducción:

- En zona operada a partir de 70 km/h: Conducción con señalización lateral (cantonamiento) y con control de franqueo. Se establecen funcionalidades de bloqueo que garantizan que solo un tren pueda entrar en una sección de vía definida por la cual podrá desplazarse con seguridad.

- En zona operada debajo de 70 km/h: Conducción en “marcha a vista” con señalización en las zonas de maniobra. Como el caso de un sistema tranviario, la responsabilidad de la conducción recae sobre el maquinista.
- En los talleres y cocheras, el sistema de señalización y control está gestionado con sistema de enclavamiento con señales laterales sin control de velocidad/franqueo ni sistema de protección automático, excepto para los accesos a la vía principal (gestión de las entradas y salidas a las cocheras desde la línea).

5.3.3.1.4. *Arquitectura del sistema de señalización*

El sistema de señalización se compone de:

- Equipos en vía
- Equipos en locales técnicos, ubicados en las estaciones,
- Equipos en el puesto de mando ubicado en talleres y cocheras,
- Equipos embarcados en los trenes,
- Se dispone de una red de comunicaciones redundada de alta disponibilidad que permita una comunicación segura entre los diferentes elementos de campo y el enclavamiento, así como entre cada enclavamiento y con el Puesto de Mando Centralizado.
- Las instalaciones de Talleres y Cocheras están ubicadas aproximadamente en el PK 35+800, a la altura de la estación “El Corzo”
- Cocheras adicionales están ubicadas aproximadamente en el PK 5+440 al nivel de la estación “Carrera 68”. En dicha localización estará ubicado el Puesto de Mando Centralizado desde donde se realizará la supervisión, entre otros sistemas, del Sistema de Señalización y Control de Tráfico.

La relación de los distintos dispositivos se puede representar de acuerdo con la siguiente figura:

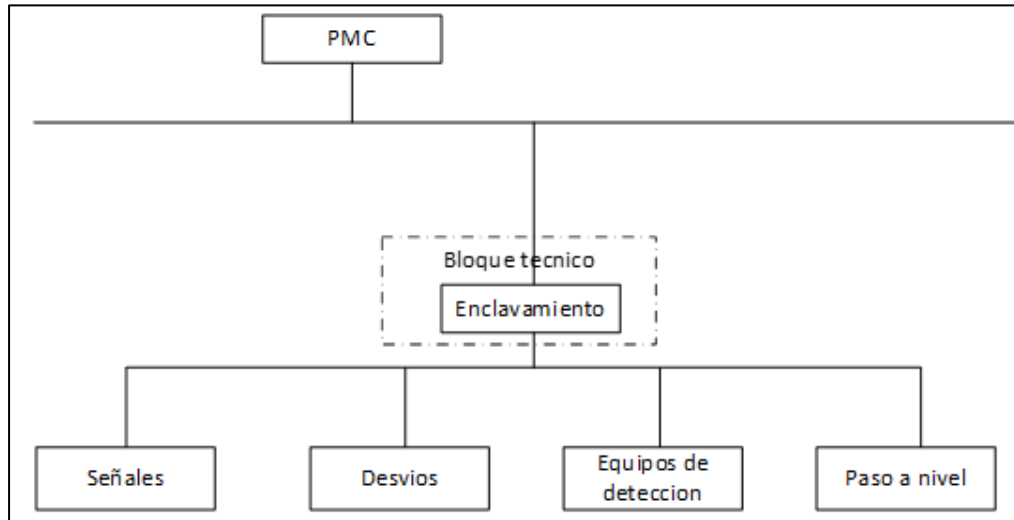


Ilustración 26 Arquitectura del Sistema de Señalización

Fuente: Anexo 11 Proyecto Regiotram Occidente

5.3.3.1.5. Subsistema de Señalización. Enclavamiento

Se considera un sistema de enclavamientos, donde cada enclavamiento puede controlar varios kilómetros de vía, abarcando varias estaciones, pues su limitación está en el número de elementos que puede controlar. Para elementos situados a mayor distancia, se puede considerar Controladores de Objeto (Object Controller OC), los cuales se alojan también en los bloques técnicos más cercanos y ejecutan las órdenes del módulo de enclavamiento asociado correspondiente. Se cuenta con la instalación de los siguientes enclavamientos ferroviarios para toda la línea:

- Enclavamiento n°1: Asociado a la zona de maniobras de la estación “Calle 26”.
- Enclavamiento n°2: Asociado a la zona de maniobras de acceso/salida de cocheras y configuración de vías de la estación “Carrera 68”. Este enclavamiento dispone de una interfaz con el enclavamiento n°9 de Cocheras PK5 para gestionar la entrada/salida de vehículos de la línea/ cocheras.
- Enclavamiento n°3: Asociado la zona de maniobras de la estación “Catam”.
- Enclavamiento n°4. Asociado a la zona de maniobras de la estación “Funza 1”.
- Enclavamiento n°5: Asociado a la zona de maniobras de la estación “Mosquera 2”.
- Enclavamiento n°6: Asociado a la zona de maniobras de la estación “Madrid 2”
- Enclavamiento n°7: Asociado a la zona de maniobras de acceso/salida de talleres y configuración de vías de la estación “El Corzo”. Este enclavamiento dispone de una

interfaz con el enclavamiento nº10 de talleres para gestionar la entrada/salida de vehículos de la línea/talleres y cocheras.

- Enclavamiento nº8: Asociado a la zona de maniobras de la estación “Facatativá”.
- Enclavamiento nº9: asociado a la configuración de vías de Cocheras PK5
- Enclavamiento nº10: asociado a la configuración de vías de Talleres y Cocheras

Estos enclavamientos se encargan de controlar los elementos que se hallan en el ámbito de la zona de maniobras de la estación, así como a los controladores de objeto localizados en su zona de vía asignada.

Cada enclavamiento está ubicado en un local técnico ubicado en la proximidad de la estación.

El Subsistema de Señalización está formado por los siguientes elementos:

- Enclavamientos electrónicos;
- Señales luminosas laterales y señales fijas;
- Sistemas de detección de la presencia de tren;
- Sistemas de control y mando de accionamiento de aguja;
- Sistema de control de franqueo;
- Red de comunicación;
- Red de cables;
- Sistema de mando local.

5.3.3.1.6. *Enclavamientos electrónicos*

La arquitectura del sistema de enclavamiento contempla los siguientes módulos:

- Enclavamientos electrónicos: incluye el conjunto de equipos, hardware y software dedicados al mando y supervisión de los elementos de campo, en interface con el puesto de mando.
- Bloqueo: permite establecer y asegurar un sentido de la marcha para las circulaciones entre dos dependencias de circulación.
- Registrador Jurídico: almacena la información trascendente a nivel legal del sistema de señalización. El Registrador Jurídico tendrá capacidad para almacenar la siguiente información:
 - Cambios de estado de las variables del enclavamiento.

- Averías y fallos que se produzcan y detecten.
- Órdenes enviadas al enclavamiento: manuales (desde el PMC o SAM) y automáticas (generadas por dichos sistemas y el propio enclavamiento).
- Login/logout de usuarios.
- Cambio de fecha.
- Borrado de buffers.
- Asimismo, el Registrador Jurídico recibe tanto del PMC /SAM a nivel Centralizado o Local la siguiente información:
 - Órdenes enviadas al enclavamiento.
 - Inicio y fin de sesión.
 - Adición / borrado de usuarios.
 - Cambio en los permisos de los usuarios.
 - Cambio de las claves de los usuarios.
- Dado que el principal objetivo del Registrador Jurídico es permitir, en el caso de que se produzca un incidente, la reconstrucción del estado del sistema en el momento en que se produjo dicho incidente, el sistema deberá:
 - Impedir el borrado accidental o intencionado de los datos almacenados.
 - Permitir a los usuarios debidamente identificados la recuperación de dichos datos, localmente o en modo remoto.
 - Estar protegido contra actos vandálicos y fuego: caja ignífuga con doble ventilador, caja vandálica con llave de acceso restringida.
 - Sistema de Ayuda al Mantenimiento (SAM): realizará la diagnosis y localización de averías y el mantenimiento de forma local o remota de cada enclavamiento.

5.3.3.1.7. Señales luminosas laterales y señales fijas

Las señales contemplan las siguientes características:

- Las señales luminosas laterales indican de forma clara y precisa al conductor de un tren y al operador de la vía principal o de Talleres y Cocheras del estado de la vía.
- El sistema de enclavamiento controla directamente las señales. El enclavamiento deberá detectar el aspecto de la señal y las posibles averías que surjan.
- En caso de distancia importante entre la señal y el enclavamiento, la señal podrá ser

controlada a través de un controlador de objeto, ubicado a proximidad de la señal o en la estación más cercana

- Las señales fijas informan de las condiciones particulares de la vía: limitación permanente de velocidad, cambio de tipo de condición de circulación (urbano, interurbano-urbano), límites de maniobra, anuncio de proximidad de un paso a nivel, anuncio de proximidad de una estación, etc...
- Se prevén señales altas de 3 focos (verde, amarillo y rojo), señales indicadoras de dirección alfanuméricas, señales bajas para las salidas de las vías de estacionamiento en vía secundaria o de apartadero, señales de dos focos para maniobra y topera y Cartelones de límite de Maniobra y fin de vía.
- Dependiendo de su localización y su función en el sistema de señalización se pueden distinguir diferentes tipos de señales:
 - Las Señales de Entrada se sitúan para proteger las secciones de desvío (en el sentido de entrada a la estación) o las propias vías de estacionamiento. Son señales altas equipadas con 3 focos que, empezando por arriba, ofrecen los aspectos Verde, Rojo, Amarillo.
 - Las Señales de Salida se sitúan en los extremos de los andenes, protegiendo las secciones de desvío (en el sentido de salida de la estación) o las secciones de entrada. Son señales altas en vía principal y ofrecen los aspectos Verde, Rojo, Amarillo.
 - Las Señales de Bloqueo se sitúan para proteger las secciones de Bloqueo. Son señales altas equipadas con 3 focos que, empezando por arriba, ofrecen los aspectos Verde, Rojo y Amarillo.
 - Las Señales Indicadoras son Pantallas Alfanuméricas: se sitúan en la configuración de vías de Talleres y Cocheras en zonas de peines de agujas con varias vías de salida. Indicarán al conductor hasta la vía del taller/cocheras que deberá avanzar.
- Las Señales de Avanzada se colocarán, respecto de la de Entrada, a una distancia que permita la parada (con aplicación de freno de servicio) en la señal de Entrada a la velocidad de circulación de la zona de la línea analizada (señal Avanzada en anuncio de parada y señal de Entrada en orden de parada). Esta distancia se corregirá con el declive de vía en función de las tablas de frenado.
- Se calcula la distancia de frenado desde la velocidad nominal hasta alcanzar la velocidad cero, utilizando freno de servicio. De este modo se pudo determinar los circuitos de vía que componen la zona de frenado de la proximidad.
- Los focos de las señales son módulos LED, compatibles con el enclavamiento.

Disponen de la funcionalidad día / noche, con diferente intensidad luminosa.

- Las señales se monten sobre mástiles que se integran al mobiliario urbano de la ciudad/municipio.
- Se garantiza la buena visibilidad de las señales y de sus colores cual que sean las condiciones de visibilidad y la hora del día
- Se garantiza la visibilidad hasta 100 metros de distancia en todas circunstancias
- La vida de la parte luminosa de la señal esta superior a 10000 horas de funcionamiento.

5.3.3.1.8. *Sistema de detección de la presencia de tren*

El sistema de detección contempla las siguientes características:

- El objetivo del sistema de detección es garantizar la detección segura del material rodante en las diferentes secciones de la vía. El sistema determina si una sección de vía está libre de tráfico o por lo contrario existe algún vehículo circulando o estacionado en de ella.
- El sistema de detección es tipo contadores de ejes..
- El sistema de enclavamiento controla directamente los equipos de detección y detecte las posibles averías del equipo.
- En caso de distancia importante entre el equipo de detección y el enclavamiento, este equipo es controlado a través de un controlador de objeto, ubicado a proximidad o en la estación más cercana.
- El sistema de señalización permite, en las condiciones de seguridad que lo autoricen hacer un reseteo del equipo de detección.
- El sistema de detección está adaptado:
 - A las condiciones de instalación de la vía (concreto, balasto),
 - Al tipo de riel utilizado (ver el Anexo 04 Superestructura de la vía).
- El sistema es insensible a los campos magnéticos generados por el material rodante y a los niveles de corriente generados por el sistema de alimentación de la tracción.

5.3.3.1.9. *Sistema de control y mando de accionamientos de aguja*

El sistema de control y mando de accionamientos de aguja contempla las siguientes características:

- Todos los desvíos de la línea están motorizados. El accionamiento propuesto es ser

hidro-eléctrico.

- Los accionamientos se ajustan al tipo de vía planteado para cada zona de la línea. El funcionamiento de los motores de aguja está gobernado en todo momento por el sistema de enclavamiento.
- En caso de ser necesario los desvíos motorizados también pueden moverse de forma manual. El sistema dispone de un mecanismo permitiendo la maniobra segura y sin esfuerzo del aparato de vía.
- El sistema de accionamiento es el encargado de trasladar las agujas a la posición correspondiente de vía directa o desviada. También posibilita el encerramiento correspondiente a la posición definitiva. Un sistema de comprobación del motor proporciona información de la posición correcta de todos los elementos móviles al final del movimiento, incluyendo también la posición del sistema de cerrojo, tanto si se trata de un sistema cerrojo externo, como si el accionamiento lleva incorporado un cerrojo interno.
- Las características técnicas que cumplen este tipo de motores son las siguientes:
 - Alimentación monofásica a 110/220 Vac (60 Hz)
 - Fuerza de apriete espadines: 3500N. Fuerza operativa 5000 N.
 - Momento requerido para funcionamiento manual < 400 N.m
 - Peso total: 700 Kg para ancho de vía 1435 mm.
 - Tiempo de movimiento (mínimo): 0.5 s.

5.3.3.2. Composición técnica del Sistema de Señalización para el Proyecto de la PLMB

5.3.3.2.1. *Sistema de Señalización y CBTC*

La línea 1 del Metro de Bogotá se opera en toda parte de la línea, de los terminales hasta los garajes y la entrada del taller, de forma automática, sin conductor, mediante un sistema CBTC (Communications Based Train Control o Control de Tren basado en Comunicaciones) con un grado de automatización nivel 4 (GoA4).

La operación en modo automático incluye:

- Retorno automático en los terminales,
- La explotación de los servicios parciales en caso de un incidente (modos degradados);

- Movimientos Entrada/Salida de los trenes de garaje;
- Gestión automática de la máquina de lavado.

Según la norma, un CBTC es un sistema de Control Automático de Trenes o ATC (Automatic Train Control):

- Que realiza un control permanente de los movimientos de trenes;
- Capaz de localizar los trenes con alta precisión (detección primaria) de manera independiente de los circuitos de vía (detección secundaria);
- Que utiliza una transmisión de datos continua bidireccional entre calculadoras fijos y embarcados realizando procesos de datos en seguridad.

La línea se opera en Automatismo Integral (GoA4):

- En servicio nominal, todos los movimientos de los trenes se realizan sin conductor
- El sistema comanda la aceleración y frenado del tren y la apertura/cierre de puertas (tren y andén).
- El sistema permite una mayor flexibilidad y regularidad de la operación logrando un Intervalo mínimo de 100 segundos en hora punta;
- El sistema asegura una regulación automática con posibilidad de aparcar los trenes en todo punto de la línea de manera automática;
- El sistema permite una circulación bidireccional en todo punto de la línea. En modo degradado, en caso de falla del sistema CBTC, el personal de operación de la línea puede conducir el tren manualmente.

5.3.3.2.2. Descripción General Sistema Señalización y Control de Trenes

Según el documento: Diseño de la primera línea de metro en el marco del sistema integrado de transporte público - SITP - para la ciudad de Bogotá (Colombia).

El sistema de señalización y control de trenes previsto para la PLMB será un CBTC, con las siguientes características principales:

- Tendrá en cuenta los requisitos de operación en situaciones normales, situaciones degradadas en la operación, así como en la definición de servicios parciales, el cierre de estaciones, la definición de servicios en vía única, etc.
- Deberá permitir un intervalo de operación de 90 segundos, por lo tanto, el esquema de vías y todas las instalaciones inherentes a la operación del sistema deberán estar diseñadas y dimensionadas para permitir este intervalo.

- Dispondrá del equipamiento necesario para poder llevar a cabo el establecimiento de modos degradados en la explotación de la línea. Este equipamiento lo constituye la instalación de circuitos de vía y señales laterales. Adicionalmente, existe también un sistema ATP de respaldo.
- Permitirá la supervisión de todo el conjunto simultáneamente por parte de los operadores de tráfico situados en el Puesto de Control Centralizado (PCC) y en el Puesto de Control de Respaldo.
- Será intrínsecamente seguro, con un nivel de seguridad SIL 4, garantizando la seguridad continua tanto de los viajeros, como del propio personal de explotación y circulación.

Con el objetivo de maximizar la capacidad de la línea, se considera un sistema CBTC tipo Cantón Móvil.

Dentro del sistema de señalización y control de trenes se dispondrá de una serie de equipamiento presente en campo. Este equipamiento será:

- Señales
- Accionamientos eléctricos
- Circuitos de vía
- Balizas
- Puntos de acceso radio CBTC
- Puertas de andén



El equipamiento que se encontrará presente en las salas técnicas distribuidas a lo largo de la línea lo conformarán:

- Controladores de zona
- Enclavamientos
- Controladores de objetos
- Servidor Comunicaciones radio
- Gestor de Flota
- Sistema ATS

Todo el equipamiento correspondiente al sistema de señalización y control de trenes quedará interconectado mediante la red de comunicaciones de señalización y el sistema radio CBTC (comunicación Tren – Tierra).

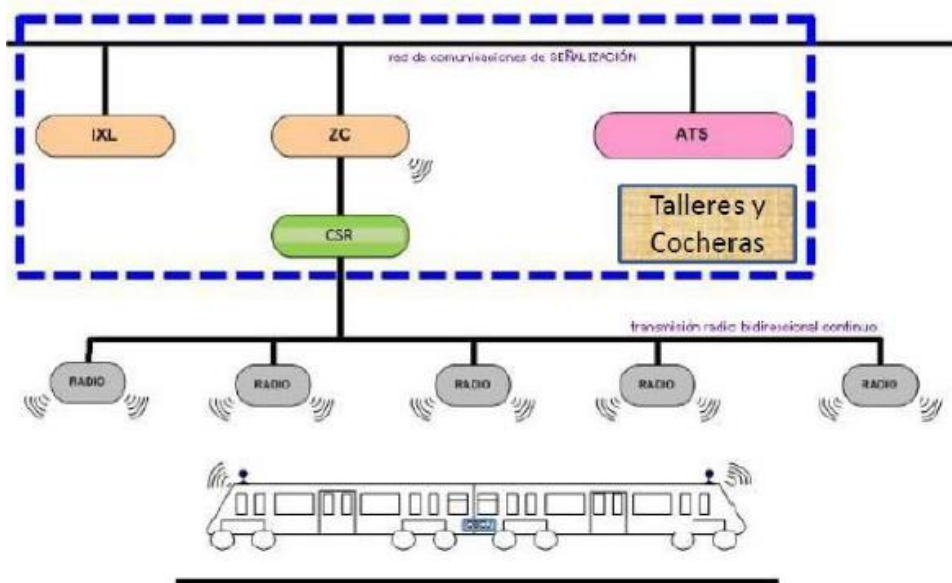


Ilustración 27 Esquema del Sistema de Señalización y Control de Trenes

Fuente: Diseño de la primera línea de metro en el marco del sistema integrado de transporte público - SITP - para la ciudad de Bogotá (Colombia).

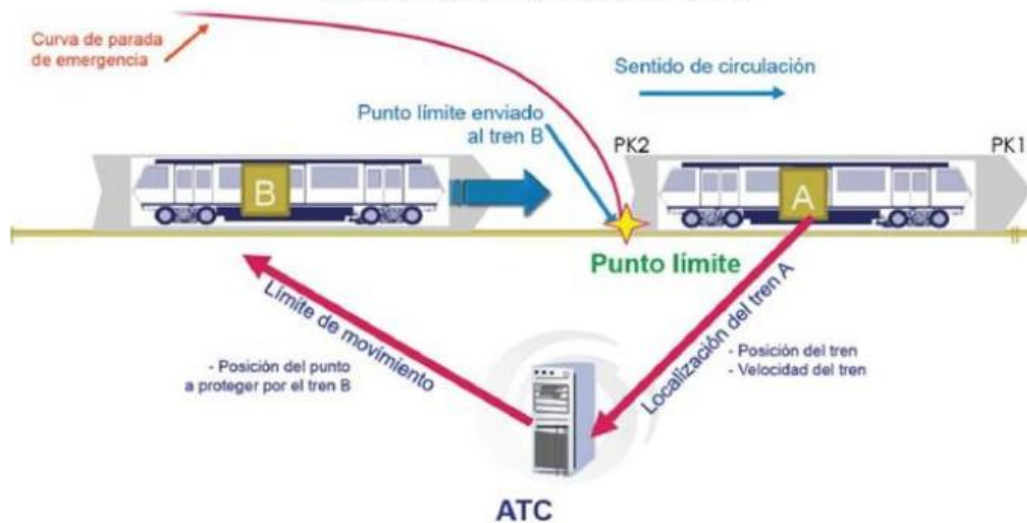


Ilustración 28 Esquema del sistema CBTC tipo Cantón Móvil

Fuente: Diseño de la primera línea de metro en el marco del sistema integrado de transporte público - SITP - para la ciudad de Bogotá (Colombia).

El controlador de zona construirá el movimiento autorizado de un tren ampliando, a intervalos de tiempo, el tramo de vía reservado para el correspondiente tren, considerando:

- El estado y el límite de la vía
- La posición del resto de trenes
- La posición y el sentido de avance del propio tren al que se le asigna el límite de movimiento autorizado
- El enrutamiento de los trenes
- La distancia máxima permitida para un movimiento autorizado

Según avance el tren, el equipamiento instalado en el material embarcado ajustará el inicio del movimiento autorizado a la parte trasera del tren, de modo que liberará un tramo de vía que el controlador de zona podrá incorporar al movimiento autorizado de otro tren. No obstante, no se autorizará la entrada de un tren a la vía del andén de una estación hasta que el tren anterior haya abandonado la estación.

En el diseño del sistema de señalización y control de trenes se ha previsto la instalación de Controladores de Objetos y Enclavamientos. Los enclavamientos se encontrarán ubicados en las estaciones de 1º de Mayo y Calle 127. La solución planteada podría haberse diseñado con la instalación de un único enclavamiento, pero en vistas de futuras ampliaciones se ha previsto la instalación del segundo enclavamiento en la estación Calle 127.

Los controladores de objetos distribuidos lo largo de la línea se encontrarán asociados a los dos enclavamientos, disponiendo de esta forma de un segundo enclavamiento como backup.

La conexión de los diferentes controladores de objetos con los enclavamientos se realizará con estructura anillo.

En los talleres y cocheras se ha previsto la instalación de un enclavamiento y un controlador de objetos para la vía de pruebas, dependiente del enclavamiento de talleres y cocheras.

5.3.3.3. Composición técnica del Sistema de Señalización para el Proyecto de la SLMB

La automatización integral de la línea 2 se consigue a través de la integración de subsistemas que deben funcionar de manera coordinada. Dichos subsistemas son:

- Sistema de Control Automático del tren (ATC),
- Material Rodante,
- Puertas de Andén,
- Telemando centralizado,
- Sistema de Telecomunicaciones,

- Sistema de alimentación eléctrica,
- Sistema de Información a viajeros.

El sistema de Control Automático del Tren (ATC) previsto para el presente proyecto es del tipo CBTC, que es un sistema moderno de señalización basado en las comunicaciones. La comunicación entre los trenes y los equipos fijos se realiza a través de radio. El uso de radio bidireccional permite un intercambio de información en tiempo real entre los trenes y los equipos de control fijos, lo cual permite incrementar en seguridad la capacidad de la línea a través de la reducción de la separación entre los trenes.

El principio de funcionamiento de los sistemas CBTC se basa en que cada tren conoce su velocidad y localización a través de diferentes mecanismos (tacómetros, balizas de relocalización, etc.). Esta posición es transmitida periódicamente desde cada tren al sistema central ATC. El ATC central conoce la posición de la integridad de trenes y el estado de la vía y responde a cada tren con una autorización de movimiento (MAL). Cada tren en función de la autorización de movimiento recibida, del trazado de la vía y de las restricciones del sistema, calcula las curvas de frenado de seguridad y conduce el tren respetando dichas curvas de seguridad. El sistema CBTC estará basado en un principio de cantón móvil real, lo cual implica que no se implementará ninguna separación de bloques en módulos de hardware ni de software, lo cual garantizará el máximo rendimiento global del sistema de transporte.

Los sistemas CBTC permiten reducir el número de equipos de señalización que son necesarios a lo largo de la vía. Dicha reducción permite en consecuencia reducir el número de incidentes debidos a la señalización, que representan una gran parte de las incidencias que afectan a la disponibilidad global del sistema de transporte.

El sistema CBTC integrará un sistema de detección secundario de trenes para posibilitar la operación de trenes no equipados, y para servir como sistema de respaldo.

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

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

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

Ilustración 29 Criterios Operativos de la Línea 2

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

5.3.3.4. Análisis de la información. Sistema de Señalización

Desde el punto de vista de la Interoperabilidad entre los Sistemas Regiotram Occidente y la PLMB, nuevamente se manifiesta una clara incompatibilidad.

La propuesta del Sistema de Señalización para el Corredor Férreo Regiotram Occidente propone un Sistema mixto, con tramos protegidos por la señalización y otros tramos con marcha a la vista, evidentemente sería un sistema completamente inseguro, dejando la responsabilidad de la explotación del sistema en manos del conductor del tren. En el producto se hace referencia a Líneas en París de tipo tranvía que son controladas 100% sin señalización, sin embargo, no se comparte este tipo de explotación para ser utilizada por el Corredor Férreo del Sur, esto representa un sistema con tiempo de caducidad sin haber sido diseñada aún.

Por otro lado, el sistema de la PLMB enmarca un sistema CBTC de nivel GoA4 sin conductor, protección tal definida por el estándar IEC 62690-1, adicionalmente con señalización lateral mediante señales tipo LED y detección del tren con cantones de tipo fijo con contadores de ejes. El distanciamiento entre trenes será controlado por las telecomunicaciones y la lectura de balizas situadas en vía como medio redundante de la precisión en la ubicación.

Sin embargo, el sistema de señalización de la PLMB no menciona un servicio ATP como sistema degradado en caso de posibles pérdidas del sistema CBTC.

Todo el control de la PLMB se pretende realizar de manera automática con comunicación tren y andén en apertura y cierre de puertas de andén. Se menciona un intervalo mínimo de 100 segundos, este tipo de beneficios en la actualidad es posible ofrecerlo mediante este tipo de sistemas.

El intervalo entre trenes del Corredor Férreo del Sur podrá ser calculado y propuesto una vez se defina la demanda de usuarios, modelo de operación, distancia entre estaciones, tipo de material rodante, entre otros. A partir de allí se realizará la primera propuesta de una estructura funcional del sistema de señalización y control de trenes acorde con las necesidades.

También es necesario indicar que, en estos documentos analizados existen falencias y carencias en la información que son esenciales para el desarrollo del Sistema de Señalización y Control de Trenes a nivel de prefactibilidad, así como existen interfaces con otros sistemas que no están descritos ni especificados, haciendo necesaria la elaboración de un listado de interfaces.

A continuación, se enuncian de manera ilustrativa y no limitativa las carencias más representativas:

- Interfaz con Material Rodante
- Interfaz con Puertas de Andén
- Interfaz con vía Férrea
- Interfaz con el Sistema de Energía
- Interfaz con el Sistema de Telecomunicaciones
- Interfaz con Operaciones.

Es necesario definir varios ítems del estudio, como son:

- Desarrollar las especificaciones funcionales de los enclavamientos (Unidad de Proceso Vital) considerando que deben ser con tecnología electrónica y no electromecánica, así como también el Sistema de Ayuda al Mantenimiento.
- Desarrollar especificaciones funcionales de los circuitos de vía, dónde se debe abrir la propuesta de solución a todas las tecnologías (por ejemplo: contadores de ejes).
- Desarrollar especificaciones funcionales de los accionamientos de aguja que permitan la entrada de los diferentes proveedores y tecnologías.
- Especificar claramente los tipos de señales luminosas laterales (de espaciamiento y señales indicadoras de posición y estado de las agujas) para cada zona urbana y suburbana. Se debe analizar si se deja abierto o se define el código de aspectos de las señales.
- Definir los puntos de transferencia y la tecnología a aplicar entre Talleres y la vía principal.
- Especificar el funcionamiento de los modos degradados previstos del Sistema.

Se evaluará para el Corredor Férreo del Sur la viabilidad de aplicación de Sistemas de Señalización como el CBTC o similares, en función de la tecnología actual y compatible con el Sistema a proponer, bien sea Tren Tram, LRT o Metro Pesado. Sistema de Puertas de Andén o Plataforma.

5.3.3.5. Composición Técnica del Sistema de Puertas de Anden de la PLMB

Entre las normas a seguir para la implementación de las Puertas de Anden para el Corredor Férreo del Sur, se tienen:

- RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas para la República de Colombia
- NTC 2050: Código eléctrico colombiano
- CE Compatibilidad Electromagnética: directiva 2004/108/CE, Seguridad eléctrica - baja tensión: directiva 2006/95/CEE, productos de construcción: directivas 89/106/CE y 93/68/CE, Máquinas: directiva 2006/42/CE.
- EN 61000-6-3 CEM: Para los entornos residenciales y comerciales y de la industria ligera. EN 61000-6-2 CEM: Inmunidad para los entornos industriales.
- EN 60335-1 Seguridad de los dispositivos electrodomésticos y similares.
- EN 13849-1 Seguridad de las máquinas – Partes de los sistemas de mando en cuanto a la seguridad.

5.3.3.5.1. *Generalidades*

El sistema de Puertas de Andén es el elemento de seguridad para el transporte ferroviario más innovador del mercado.

Las puertas de andén son unas fachadas de seguridad (acero, aluminio anodizado y cristal laminado muy transparentes), que separan el andén de la vía.

Estas fachadas constan de unas puertas deslizantes situadas delante de las puertas que dan acceso al vehículo (material móvil), cuyo paso libre es ligeramente superior a las del tren para garantizar el flujo de pasajeros (paso libre PSD = paso libre material móvil + precisión de parada).

Estas puertas deslizantes se abren de forma sincronizada con las puertas del vehículo, cuando el metro llega a la estación y realiza su parada. Estas puertas también se cierran de forma sincronizada con el cierre de las puertas del vehículo, cuando éste abandona la estación para seguir su recorrido. En caso de fallo en el sistema de señalización, existirá en cada andén, un mecanismo para la gestión de las puertas de ese andén. Este mecanismo (panel de control local LCP) gestionará todas las puertas de ese andén y será gestionado por personal autorizado y siguiendo protocolo establecido. A cada lado de estas puertas automáticas deslizantes, se sitúan otras de emergencia, batientes hacia el interior del andén y accionables mediante sistema de seguridad (maneta / barra antipánico, etc.) desde el lado de la vía. Estas puertas permiten a los pasajeros de un convoy, evacuar el

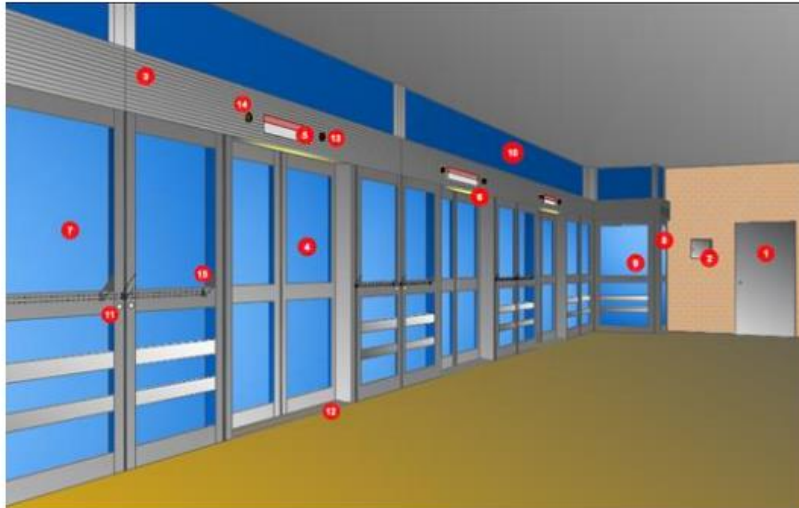
tren en caso de que éste se detenga fuera de su posición habitual de parada. Por encima de estas puertas se sitúa la caja de mecanismos. Ésta contiene el corazón del módulo e integra el control de la puerta.

En la caja de mecanismos se encuentran los elementos que forman el bucle de seguridad del sistema. Este bucle, que está formado por todos los detectores de estado de las puertas de andén, es lo que dota a la línea de la seguridad necesaria para evitar cualquier tipo de incidente, ya que imposibilita la entrada o salida del tren en la estación si no está toda la fachada cerrada y enclavada, es decir, si no se tiene la certeza de que nada ni nadie puede caer a la vía en el momento de entrar el tren a la estación y que nadie ha quedado atrapado entre las puertas en el momento de salir el tren de la estación.

El resto de la fachada se completa con paneles fijos, provistos de cristal de seguridad, y puertas de salida a andenes para que el personal de mantenimiento pueda realizar trabajos necesarios, y en caso de evacuación de un tren, los viajeros puedan evacuar la estación accediendo por el andén a través de esta puerta.

El sistema de puerta de andén refuerza la seguridad de las líneas de Metro para todos los pasajeros, ya que son la protección más eficaz para evitar su caída a las vías o disuadir a los pasajeros de cambiar de andén. También favorece la utilización total del andén.

Asimismo, el sistema de puerta de andén refuerza los elementos de protección para el colectivo de Personas de Movilidad Reducida, principalmente los invidentes, complementando otras medidas ya previstas en el diseño de las estaciones de metro. Este sistema también proporciona ventajas en la explotación del servicio, en cuanto a la protección en los accesos a los túneles, protección contra el fuego y el ahorro de energía, permitiendo además una mayor capacidad y regularidad en la prestación de los servicios.

**ELEMENTOS INTEGRADOS**

- 1 SALA CONTROL / ALIMENTACIÓN PUERTAS DE ANDÉN
- 2 PANEL DE CONTROL LOCAL
- 3 GESTIÓN DE PUERTA Y DISTRIBUCIÓN DE CABLEADOS
- 4 PUERTAS DESLIZANTES
- 5 PANELES INDICADORES
- 6 ILUMINACIÓN
- 7 PUERTAS DE EMERGENCIA CON APERTURA MEDIANTE MECANISMO ANTIPÁNICO
- 8 PUERTAS PARA ACCESO A LA VÍA
- 9 PANELES FIJOS
- 10 CERRAMIENTO DE VIDRIO
- 11 MECANISMO LIBERACIÓN LADO ANDÉN
- 12 PISADERA
- 13 INDICADOR ACÚSTICA
- 14 INDICADOR LUMINOSO
- 15 MECANISMO LIBERACIÓN LADO VÍA

Ilustración 30 Partes principales de las puertas de Andén

Fuente: Resumen Ejecutivo de la PLMB

5.3.3.5.2. *Diseño*

En el diseño del sistema de puertas de andén primarán los siguientes conceptos:

- La seguridad del pasajero en el momento que está en el andén y durante el recorrido tren-andén (en modo normal y en modo degradado).
- La disponibilidad del sistema
- La resistencia a las agresiones del medio
- Las cargas debidas a las presiones, efecto pistón, a los choques de acceso, empujes de los pasajeros y cargas sísmicas
- Mantenimiento optimizado, reducido y sencillo
- Estética general, buscando la transparencia de la fachada y con acabado acordes a la arquitectura de la estación.
- Diseño modular, fácilmente intercambiable
- Impedir la propagación de incendios y la penetración de humos así como la de gases tóxicos derivados del fuego en las instalaciones próximas del sistema

5.3.3.5.3. *Funcionalidades*

Con el diseño y la instalación de las Puertas de Andén, se posibilitará:

- Aislar la plataforma y los pasajeros de las vías.
- Evitar que personas u objetos caigan a las vías, y evitar el coste asociado.

- Evitar que se pueda entrar en los túneles.
- Lograr que sólo haya movimientos de pasajeros entre el tren y el andén cuando el tren está parado y en posición correcta.
- Proteger a los pasajeros de ser arrastrados por el tren.
- Aumentar el área disponible para los pasajeros mientras esperan el tren.
- Limitar el acceso a los túneles al personal autorizado.
- Aumentar el tránsito ferroviario. o Cuando el tren se ha posicionado correctamente, las Puertas de Andén permiten un flujo de los pasajeros entre andén y tren (reduce el tiempo de transferencia). Permite garantizar unas condiciones de seguridad mientras los trenes se mueven. Reduce las interrupciones de los servicios de trenes, al evitar la caída de objetos o personas a la vía
- Protección contra el fuego
- Ahorro de energía
- Reducir el ruido y la corriente de aire generada por el tren cuando llega y sale de la estación El sistema de Puertas de Andén será diseñado para facilitar su mantenimiento:
- Los elementos que forman la fachada se podrán sustituir fácilmente con herramientas estándar y en el menor tiempo posible
- Todos los componentes, sub-montajes o montajes principales que puedan requerir su retirada del sistema para sustitución de componentes desgastados o resolución de averías, serán totalmente accesibles desmontables y montables desde el lado del andén.

5.3.3.6. Composición Técnica del Sistema de Puertas de Anden en el Proyecto Regiotram Occidente

- La solución planteada describe un equipamiento de los andenes con puertas de estación.
- No se tiene interface entre el sistema de señalización y estas puertas se consideran como un sistema de control de evasión y de ninguna manera como un sistema de seguridad.

5.3.3.7. Análisis de la Información respecto a Puertas de Anden o Plataforma

Según la información recolectada es evidente que para el Sistema Regiotram Occidente no está desarrollado este componente de Puertas de Andén, incluso se manifiesta que no existirá una interfaz con el sistema de señalización.

El sistema de la PLMB muestra un producto más claro, mejor desarrollado, se indican las partes clave para este tipo de sistema y las funcionalidades disponibles.

Se presentan modos de operación degradado con apertura manual, salidas de emergencia en caso de quedarse una persona atrapada entre el tren y las puertas, alarmas sonoras, entre otros.

Por lo tanto, el producto de la PLMB es considerado de utilidad para obtener referencias claras del Sistema de puertas de Anden y podrá servir como elemento base para las alternativas que se establezcan para el Corredor Férreo del Sur. Sin embargo, no se mencionan en el documento las interfaces que debe manejar este sistema y los detalles asociados a la integración con:

- Telecomunicaciones
- Señalización
- Material Rodante
- Estaciones
- Energía, redundancia de energía
- Entre otros factores o subsistemas necesarios a considerar.

5.3.4. Sistema de Telecomunicaciones.

La normativa a usar en el Sistema de comunicaciones es mayormente de procedencia extranjera, toda vez que en Colombia no se cuenta con normativa en el ámbito de las Comunicaciones ferroviarias para sistemas férreos de pasajeros, por lo que, se adopta la normativa estándar internacional más usada, que son:

- Organización Internacional de Normalización (ISO);
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC);
- Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC);
- Normas Francesas (NF);
- Normas Alemanas (DIN);
- Normas Europeas (EN);

Entre las mencionadas anteriormente se especifican las más adecuadas para citar en este proyecto se encuentran:

- Normas Técnicas Colombianas (NTC), de las cuales se destaca NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano.

La nueva versión del Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, es una norma acorde a la invención de tecnologías en un ámbito global relacionadas a la eficiencia

energética, sin dejar de lado las técnicas y materiales que se pueden implementar en las instalaciones eléctricas.

- UNE-EN 50121-1:2017: Railway Applications - Electromagnetic compatibility - Part 1: General (Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética. Parte 1: Generalidades) La infraestructura ferroviaria tiene un complejo entorno electromagnético formado por muchos sistemas de señalización, tracción, telecomunicaciones y comunicaciones de radio.

La Compatibilidad electromagnética (CEM) entre los sistemas eléctricos y electrónicos es un requisito esencial para el funcionamiento seguro y fiable del equipo. Es muy evidente que la interferencia causada por los sistemas de tracción puede perturbar la señalización, con consecuencias potencialmente peligrosas.

El principal problema del carril en torno a la compatibilidad electromagnética es la función diferenciada de los carriles. Originalmente los rieles eran exclusivamente un sistema de guiado mecánico, pero la llegada de la electricidad y el crecimiento tecnológico ha hecho de la infraestructura ferroviaria un sistema complejo en el que interactúan diferentes equipos. La presencia de equipos de tecnología avanzada hace que el problema de la interferencia sea una variable extremadamente importante.

- UNE-EN 50125-3:2004 CORR:2010: Railway applications - Environmental conditions for equipment -- Part 3: Equipment for signaling and telecommunications (Aplicaciones Ferroviarias. Condiciones ambientales para el equipo. Parte 3: Equipos para telecomunicaciones y señalización.) La norma pretende definir: condiciones de interfaz entre el equipo y su entorno, parámetros a utilizar por los proyectistas en el cálculo del R.A.M.S. y del tiempo de vida con respecto a los efectos de las condiciones ambientales.

- UNE-EN 50159-1:2001: Railway applications - Communication, signalling and processing systems -- Part 1: Safety-related communication in closed transmission systems. (Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Parte 1: Comunicación segura en sistemas de transmisión cerrados.) Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Comunicación relacionada con la seguridad en sistemas de transmisión. Esta norma europea se aplica a los sistemas electrónicos de seguridad que utilizan un sistema de transmisión abierto para comunicación. Da los requisitos básicos necesarios para obtener una transmisión segura entre equipos de seguridad conectados al sistema de transmisión abierto.

Las propiedades y el comportamiento del sistema de transmisión abierto solo se emplean para la definición de las prestaciones, pero no para la seguridad. Por lo tanto, desde el punto de vista de la seguridad, el sistema de transmisión abierto puede tener potencialmente cualquier propiedad, como diferentes medios de transmisión, almacenamiento de mensajes, accesos no autorizados, etc. el proceso

de seguridad sólo deberá basarse en propiedades que hayan sido demostradas en el caso de seguridad.

- Directrices y lineamientos del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia – MinTIC;

5.3.4.1. Composición Técnica del Sistema de Telecomunicaciones de la PLMB

Para la operación de la línea automática del metro de Bogotá, esta implementado un sistema de telecomunicaciones para asegurar al mínimo las siguientes funciones:

A bordo de los trenes:

- Transmisión de las imágenes video desde los trenes hacia el PCC: Varias cameras a color y de alta definición en cada coche. La transmisión debe asegurar una vista clara de cualquier parte del coche desde el PCC;
- Transmisión de voz entre los interfonos a dentro de los trenes y el PCC: Los pasajeros pueden comunicar con un operador del PCC mediante interfonos ubicados al lado de cada puerta;
- Sonorización de los trenes desde el PCC para difundir mensajes del PCC a los pasajeros;
- Transmitir información visual a los pasajeros a bordo de los trenes para información operacional o comercial;
- Transmitir alarmas pasajero (emergencia) al PCC a través del enlace con el CBTC.

En las estaciones

- Transmisión de las imágenes video desde las estaciones para, por ejemplo, permitir una vista clara de todas las puertas de andén desde el PCC;
- Sonorización de andenes y áreas de circulación de pasajeros para mensajes audio del PCC;
- Transmitir informaciones visuales a pasajeros: Próximos trenes, información, video...
- Transmitir alarmas: Punto de ayuda (urgente) al usuario en andén;
- Transmitir los cortes de energía tracción (Corte 750V) desde los ruptores ubicados en los andenes de las estaciones.

Para asegurar estas funciones, el sistema de telecomunicaciones abarca los siguientes subsistemas:

- Sistema de Red multiservicios (RMS);
- Sistema de Gestión de Usuario (SGU);
- Sistema de Telefonía/Interfonía (TEL);
- Sistema de Radiocomunicaciones (TETRA y Red de Banda Ancha (RBA);
- Sistema de Grabador de Voz;
- Sistema de Alarmas y Control de Acceso;

- Sistema de Información a los Pasajeros (SIP);
- Sistema de Difusión de publicidad (DDP);
- Sistema de Video vigilancia (CCTV);
- Sistema de Anuncio a Pasajero (SAP);
- Sistema de IHM (IHM).

Sistema de Red Multiservicios (RMS) El sistema RMS es el soporte de comunicaciones (voz, datos y video) de los siguientes sistemas:

- IHM de COM presente en el PCC y PCC de respaldo o capacitación;
- SCADA (SCS) presente en el PCC y PCC de respaldo o capacitación;
- Energía (ENR);
- Radio (RAD) y Teléfono (TEL);
- Alarmas y control de acceso (SAC);
- Billetaje (BILL);
- Videovigilancia (CCTV);
- Información al pasajero (SIP) y difusión de publicidad (DDP);
- Cronometría (CRO);
- Sonorización (SAP)

5.3.4.1.1. *Cronometría*

El sistema de cronometría asegura un servicio de difusión del reloj de referencia en la línea 1. El sistema suministra la información de sincronización a todos los sistemas conectados a la RMS de la línea:

- RMS;
- Radiocomunicaciones;
- Telefonía;
- CCTV;
- SAP, SIP;
- Alarmas y control de acceso;
- Control de asistencia;
- CBTC;
- Control centralizado;
- Energía;
- Equipos de Control-Equipo de estación tipo SCADA;
- Equipamientos embarcados;
- Billetaje;
- Ordenadores.

El sistema muestra la hora en distintos lugares como:

- Estaciones (plataformas y oficinas del establecimiento);
- Salas del PCC;

- SET/SER/CT;
- Taller;
- Edificios de mantenimiento;
- Edificio administrativo.

5.3.4.1.2. Sistema de gestión de usuarios

Este sistema permite cumplir las siguientes funciones:

- Confidencialidad de los datos y programas: se usa cuando el acceso a los datos o las aplicaciones es o debe ser sometido a control;
- Integridad de los datos y programas: se usa cuando los datos o programas son idénticos a los documentos de partida y no han sufrido cambios o destrucciones accidentales o malintencionadas;
- Suspensión de servicio: paro del servicio a los usuarios para evitar la destrucción por acto malintencionado o fallas de diseño del sistema; Personalización (para los agentes del metro): cada usuario tendrá acceso únicamente a los programas y funciones permitidos según los derechos previamente definidos por un administrador. Asimismo, el entorno (ubicación de ventanas, íconos de escritorio, etc.) estarán asociados o serán personalizables para cada usuario.

5.3.4.1.3. Sistema de telefonía/Interfonía (TEL)

La red de telefonía e Interfonía cumple 2 funciones principales:

- función de telefonía;
- función de Interfonía.

Esta red asegura las comunicaciones telefónicas internas entre distintos abonados sean de la línea, L1, red de telefonía corporativa de Metro de Bogotá o externa a Metro de Bogotá.

Las redes de telefonía e interfonía de la línea 1 son de tecnología IP, funcionalmente independientes, aunque tienen el mismo sistema central IPBX (redundante) y un enlace con la planta de la red de telefonía corporativa actual (planta corporativa fuera de este contrato).

Se realiza un enlace entre la red telefónica y la red TETRA. Esta funcionalidad permite emitir y recibir llamados desde/hacia la red TETRA. Las comunicaciones telefónicas o de interfonía destinadas o procedentes del PCC son grabadas. El grabador se ubica en el PCC.

5.3.4.1.4. Sistema de grabación de voz

El sistema de grabación permite registrar conversaciones que transitan en la red de metro, para ser reproducidas posteriormente si fuera necesario.

El sistema de grabación toma en cuenta todas las comunicaciones de las salas de operación: PCC y PCC de respaldo. Las comunicaciones son de tipo:

- Telefónicas desde las consolas de explotación (incluyendo la interfonía);
 - Sean comunicaciones internas;
 - Sean comunicaciones externas con los servicios de emergencia (bomberos, etc.) u otros;
- Radiocomunicación (TETRA);
- Sonorización de las estaciones y a bordo de los trenes en lo referente a los anuncios verbales (tiempo real) únicamente;
- Comunicaciones de voz internas a cada sala (PCC, PCC respaldo) mediante un micrófono para captura del ruido ambiental en las salas.

Este sistema es mutualizado para suministrar una función de grabación única y común para Radiocomunicaciones TETRA, Sonorización, Telefonía e Interfonía de la línea 1. La parte central del sistema es redundante entre los locales técnicos del PCC y del PCC de respaldo.

5.3.4.1.5. Sistema de red de banda ancha (RBA)

Para cumplir con todas las necesidades de radiocomunicaciones de Banda Ancha de la línea L1, se necesita un sistema de red de banda ancha (RBA).

Esta red inalámbrica está considerada como una extensión de la RMS.

La RBA cubre las necesidades de:

- Transferencia de datos de los trenes (CCTV, SIP, DDP entre otros) en viaducto y Taller;
- En opción, las comunicaciones de tipo "WIFI" internet/intranet del personal de la PLMB;
- En opción, potencialmente, las comunicaciones de tipo "WIFI" de los pasajeros en las estaciones (a definir en ingeniería de detalles). La arquitectura RBA está compuesta por:
 - 1 red radioeléctrica inalámbrica que garantiza las comunicaciones suelo-tren nombrada RBA Tren-Tierra (RTT);
 - 1 red WIFI desarrollada en todas las estaciones de metro para el personal de la PLMB y los pasajeros nombrada RBA (WIFI), a nivel del Taller y en la vía de pruebas para el personal de la PLMB y los subcontratistas. La tecnología RBA de conexión Tren Tierra para la transmisión de datos puede ser de tipo WIFI.

5.3.4.1.6. Sistema de información a pasajeros (SIP)

El Sistema de información a pasajeros permite:

- Que el pasajero pueda elegir su recorrido haciendo sus propias elecciones según las informaciones de tráfico proporcionadas en tiempo real;
- Que muestre la gestión ante incidentes;

- Evitar que se provoque pánico o alarma por parte de los pasajeros frente a un incidente (llamadas de interfonos, acciones de señales de alarma);
- Indicar, en caso de evacuación, las salidas de emergencia y sentido de evacuación en vía. La información al pasajero incide en el sentimiento del pasajero de ser tomado en cuenta durante su recorrido en el Metro y colabora en la implementación de las “funciones de explotación” de la línea. Por tanto, este sistema SIP informa a los pasajeros, en tiempo real, acerca de la disponibilidad de la red y dar el tiempo de espera y el destino de los trenes que están por llegar, entre otras funciones.

5.3.4.1.7. Sistema difusión de publicidad (DDP)

El sistema de Difusión de Publicidad (DDP) es independiente del sistema SIP, aunque se sirva de las mismas vías de comunicación para dirigir la información hacia las pantallas.

Una solución de gestión y difusión visual integrada (SIP y DDP) en una misma plataforma siempre y cuando el DDP no afecte el funcionamiento del SIP podrá ser desarrollada.

El subsistema de difusión de publicidad permite mostrar imágenes, videos, textos, en colores y dinámicos, destinados a los pasajeros con fines de marketing.

En el caso de situaciones degradadas, las pantallas DDP pueden difundir mensajes textuales de funcionamiento, tales como:

- Información dinámica:
 - En la línea;
 - Información relativa a los servicios de explotación parciales;
- Información estática como:
 - La hora;
 - Información general acerca de la actividad de la red.

Las pantallas del subsistema SIP y los del DDP, bien sean de misma tecnología y/o tamaño, son funcionalmente distintas para no mezclar la información relacionada con la operación y la información de tipo marketing o corporativa.

5.3.4.1.8. Sistema circuito cerrado de televisión (CCTV)

Para brindar seguridad a los pasajeros, el sistema de video vigilancia (CCTV) es un elemento fundamental. El sistema CCTV contribuye a la calidad del trabajo de la explotación y de los equipos de seguridad.

Para responder a necesidades operativas o de seguridad, el sistema CCTV se implementa en los siguientes lugares:

- Las estaciones y sus inmediaciones;
- El taller y sus inmediaciones;
- Los trenes

Las entidades habilitadas para visualizar las imágenes son:

- El jefe de estaciones;
- El responsable de estación
- El personal del PCC principal y de respaldo
- Director de operación y director de la línea.

El sistema de CCTV permite resolver cualquier duda existente sobre alarma o incidente, evaluar situaciones, buscar y seguir personas.

5.3.4.1.9. Sistema de anuncio a pasajero (SAP)

El sistema de sonorización permite enviar mensajes pregrabados o en tiempo real a las estaciones, a los trenes operando en la línea y a los talleres.

El sistema SAP trabajará en una plataforma compatible con tecnología Ethernet que le permite propagarse en la RMS.

Los mensajes están divididos en mensajes pregrabados y mensajes de viva voz. El sistema SAP mantiene un registro de todos los códigos de eventos o mensajes pregrabados emitidos y el sistema de grabación registra y guarda los mensajes de viva voz, enteros y tal como fue transmitido.

El sistema SAP permite programar con anterioridad la emisión de mensajes en el tiempo. Estos mensajes podrán ser múltiples, simultáneos y/o con contenido diferente, en las diferentes zonas de las estaciones y/o los trenes.

El sistema SAP permite trabajar de manera coordinada con otros subsistemas de RMS, Radiocomunicaciones TETRA y/o RBA para transmitir:

- Mensajes de voz pregrabados;
- Mensajes de voz en directo;
- Datos del sistema de SAP;
- Comandos al sistema de SAP.

Se utiliza la RMS para transmitir mensajes en las estaciones, mensajes grabados y de viva voz.

Se utiliza el sistema TETRA para transmitir mensajes de viva voz en los trenes y también aquellos mensajes pregrabados que están siendo enviados desde la base de datos del servidor. Se utiliza la red RBA para actualizar la base de datos de mensajes pregrabados a bordo del tren.

5.3.4.1.10. Sistema IHM de comunicaciones (IHM)

Como parte de los sistemas de Comunicación, se desarrollan dos herramientas de tipo IHM:

- una IHM de Comunicaciones para manejar todos los subsistemas de comunicaciones;
- una IHM de seguimientos de la oferta de transporte para tener una visión global de lo ocurrido en la red de Metro.

En la sala del Puesto Central de Control, las IHM están constituidas por

- Un tablero de control óptico (TCO) que presenta:
 - Las imágenes CCTV procedentes del sistema de comunicaciones;
 - El plano de la línea con posición de los trenes procedente del sistema ATS;
 - La energía tracción en la línea procedente del sistema SCADA estaciones.
- 5 puestos de trabajo idénticos
- Cada Puesto de trabajo está equipado con los siguientes equipamientos de comunicación:
 - Varias pantallas para los sistemas ATS y SCADA estación (fuera del alcance del contratista de sistema de comunicaciones);
 - Varias pantallas para la IHM COM;
 - Un reproductor IHM para la gestión de las llamadas de radio TETRA;
 - Un reproductor IHM o un teléfono para las llamadas relativas a la explotación;
 - Un reproductor IHM o un teléfono para realizar la función de escucha discreta o recibir llamadas del sistema de interfonía;
 - Parlantes y micrófono unidireccional;
 - Un teléfono para realizar y recibir llamadas hacia y desde una red fónica interna del PLMB o externa (estaciones, taller, externos, etc.).

El PCC de respaldo o capacitación contará con puestos de trabajo idénticos a los del PCC principal.

En la sala de control de la operación en estación, se debe permitir manejar en todo momento ciertas funciones de operación para garantizar la continuidad del servicio comercial en modo local.

La Sala de Operación de la Estación posee un puesto de trabajo con funciones de comunicaciones reducidas.

En caso de necesidad el puesto cuenta con un acceso a las funciones de CCTV local a la estación (selección de cámara y visualización en pantalla), sonorización local de toda la estación.

Cada puesto fijo consta con:

- Un micrófono (tipo teléfono o cuello de ganso) y parlantes conectados al SAP de estación;
- Una IHM de tipo cliente ligero compatible con una computadora conectada en la RMS para acceder a las funciones del sistema CCTV;
- Una pantalla visualizar la IHM y los videos CCTV de la estación;
- Un reproductor IHM o un teléfono para las llamadas relativas a la operación;
- Un teléfono de operación.

5.3.4.2. Análisis de la Información para el Sistema de Telecomunicaciones

De manera general, se identificaron algunas indefiniciones de las funcionalidades mínimas y el hardware necesario en el puesto de mando central.

- Para el Centro de Control se detectó la necesidad de especificar:
 - Los modos de operación, perfiles y roles de los operadores.
 - Las salas que se requieren (Operación, técnicas, administrativas).
 - El requerimiento de equipos en cada sala de trabajo.
 - Eventos y alarmas.

Para los sistemas de Control y Supervisión, se identificó la necesidad de especificar los alcances y funcionalidades del Sistema de Gestión de Tráfico por una parte y por otra el sistema SCADA con las diferentes funciones específicas: Equipos de Energía, Equipos de Estaciones y Equipos de Seguridad.

Se debe indicar que, en estos documentos analizados existen falencias y carencias en la información, que son esenciales para el desarrollo de las Comunicaciones, así como existen

interfaces con otros sistemas que no están descritos ni especificados, haciendo necesaria la elaboración de un cuadro de interfaces.

A continuación, se enuncian de manera ilustrativa y no limitativa las carencias más representativas:

Sistema de Puertas de Anden.

Es requerida una interfaz con este sistema de puertas dado que, este tiene relación directa con la Red IP y el sistema de Control y de Señalización, sistemas de emergencia, sonería, entre otros.

PCC

Con este sistema, o con esta dependencia, se debe definir los usuarios niveles de control, niveles de acceso, así como la arquitectura prevista de gestión de tráfico y comunicaciones.

Estaciones

Desde el punto de vista de arquitectura y acabados finales, se tendrá que delimitar si todo el cableado de la estación será cubierto por paneles tipo Vitrex, o si habrá algún tipo de canalización oculta, o se tendrá un bajo anden para gestión de canalizaciones y perchas, en fin, todas las facilidades de instalación de cableados deberán ser definidas por la arquitectura de la estación.

Se deberá indicar, en las estaciones la infraestructura desarrollada para el tendido de cables y equipos con sus variaciones y estandarizaciones, entre las opciones más comunes para estas infraestructuras están los bancos de ductos, o canaletas de concretos o inclusive los ductos enterrados.

Operación Comercial

- Modelo Operativo completo
- Ubicación de cocheras.
- Ubicación de equipos
- Necesidad de un Data Center, etc.

5.3.5. Equipos de Patio Taller.

Para el diseño de las edificaciones como tal se aplicará la normatividad de uso reglamentario y usual en el país; entre otras:

- NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. National Fire Protection Association. Estándar para sistemas de tránsito de guía fija y ferrocarril de pasajeros. Asociación Nacional de Protección contra Incendios.

- Normas UIC - International Union of Railways.
- Eurocodes. CEN. European Committee for Standardization.
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP

5.3.5.1. Equipos de mantenimiento del Patio Taller definidos en el Proyecto Regiotram Occidente

Los principales equipos de mantenimiento del Patio taller son los siguientes:

- Máquina de lavado para los trenes,



Ilustración 31 Máquina de Lavado

Fuente: Web

- Sistema de recarga de arena,

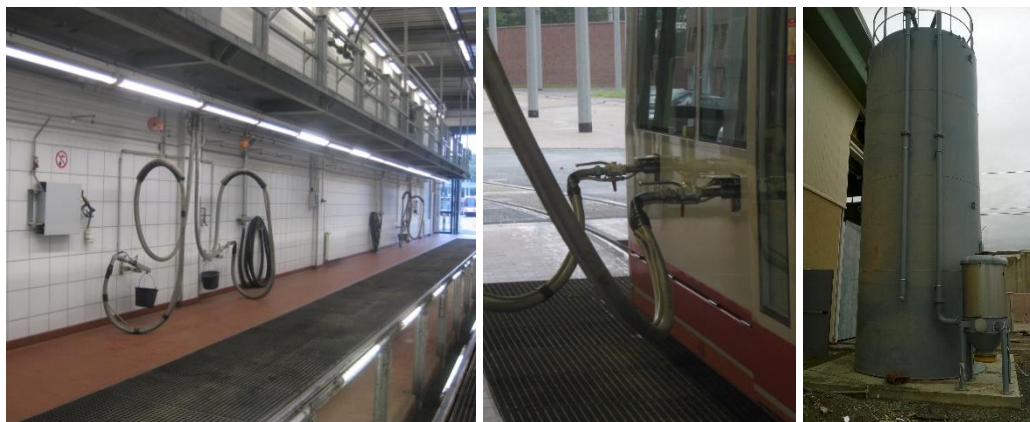


Ilustración 32 Sistema de recarga de arena

Fuente: Web

- Pasarela de vía con foso

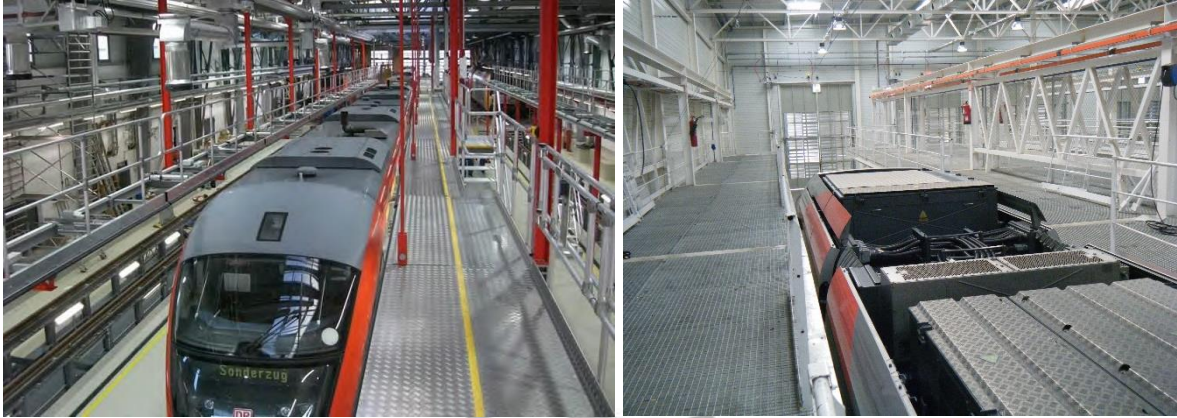


Ilustración 33 Pasarela de vía con Foso
Fuente: Web

- Torno de foso para las ruedas,



Ilustración 34 Torno de foso para ruedas
Fuente: Web

- Carro de arrastre autopropulsado



Ilustración 35 Carro de arrastre autopropulsado
Fuente: Web

- Puente-grúa per cada vía con foso y pasarela,

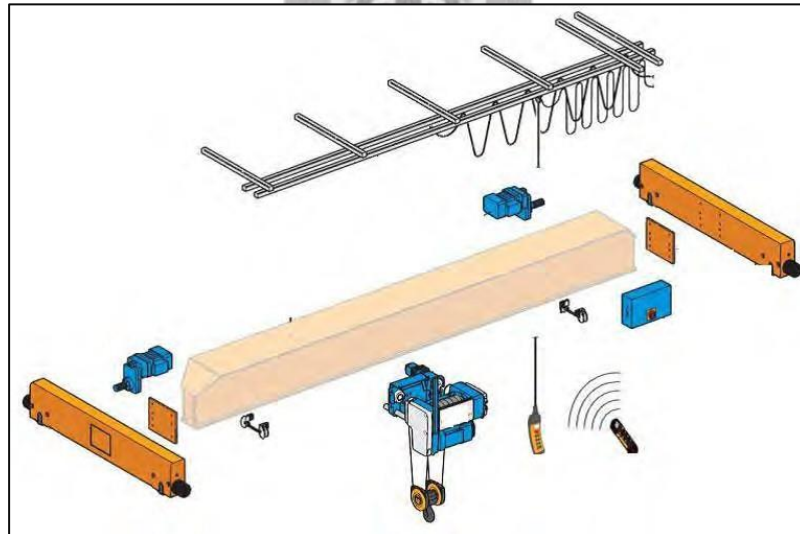


Ilustración 36 Puente grúa
Fuente: Web

- Puente-grúa para las vías de levante y el taller mecánico,

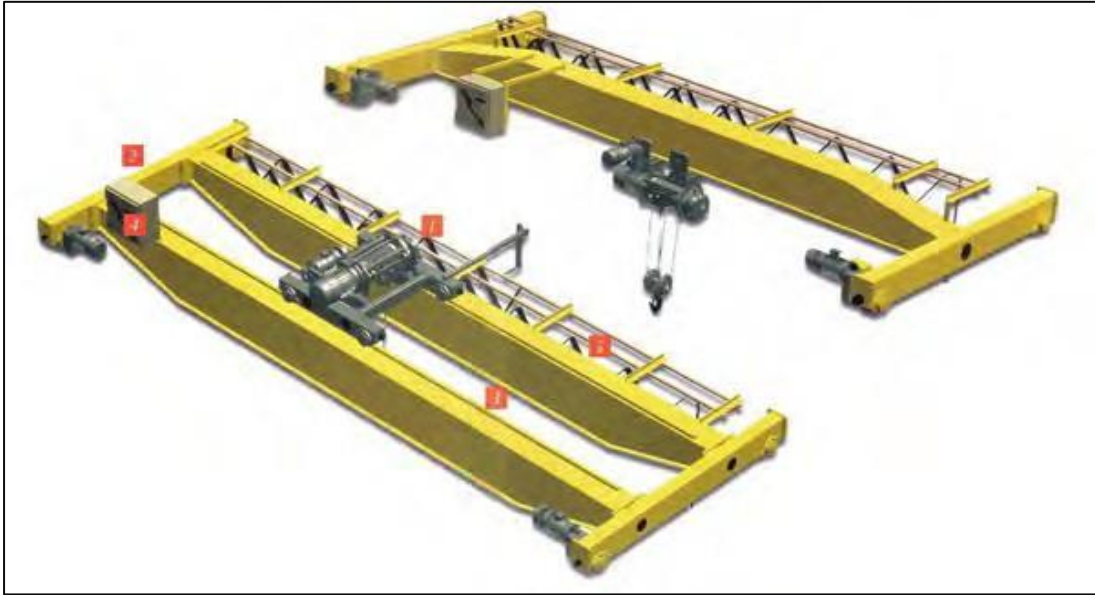


Ilustración 37 Puente-grúa para las vías de levante y el taller mecánico
Fuente: Web

- Cabina de pintura,



Ilustración 38 Cabina de Pintura

Fuente: Web

- Sistema de Elevación



Ilustración 39 Sistema de Elevación
Fuente: Web

- Plataforma de elevación de bogies (tijera)



Ilustración 40 Plataforma de Elevación de Bogies
Fuente: Web

- Prensa de calar y descalar ruedas, discos y reductoras

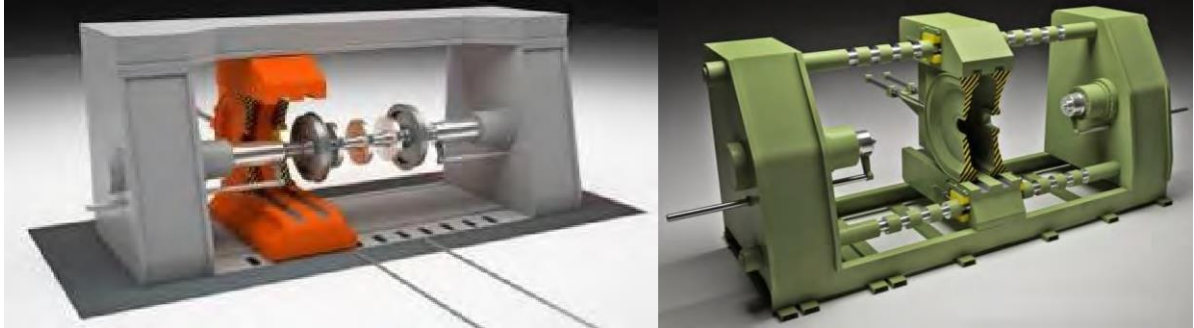


Ilustración 41 Prensa de Calar y Descalar ruedas
Fuente: Web

- Prensa de reglaje bogies



Ilustración 42 Prensa de reglaje de bogies
Fuente: Web

- Instalación de lavado de bogíes



Ilustración 43 Instalación de lavado de bogíes
Fuente: Web

5.3.5.1.1. *Equipos de mantenimiento de la red*

- Dresina

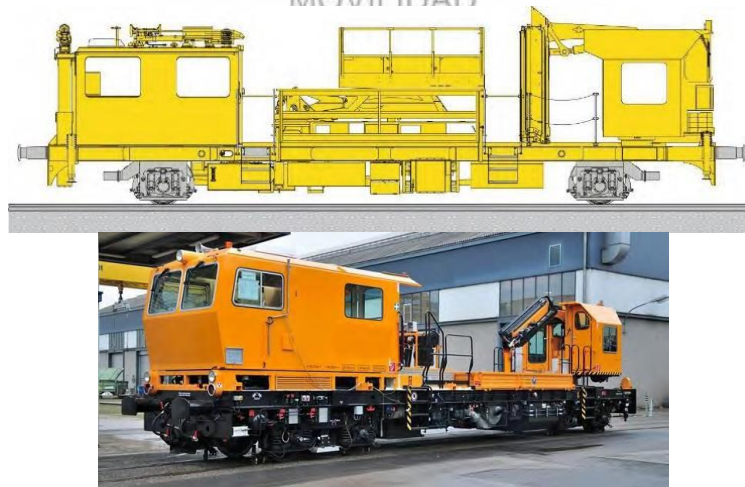


Ilustración 44 Dresina
Fuente: Web

- Equipo de encarrilamiento (descarrilado)



Ilustración 45 Equipo de Encarrilamiento
Fuente: Web

- Vehículo bi-vial



Ilustración 46 Vehículo Bivial
Fuente: Web

- Vehículo de medición de parámetros de vía



Ilustración 47 Vehículo de medición de parámetros de vía
Fuente: Web

- Depósito de hidrocarburos



Ilustración 48 Depósito de Hidrocarburos
Fuente: Web

- Control de parámetros de rodadura



Ilustración 49 Control de parámetros de rodadura

Fuente: Web

- Esmeriladora de carril



Ilustración 50 Esmeriladora de Carril

Fuente: Web

- Plataformas auto elevables (tijera)



Ilustración 51 Plataformas auto elevables

Fuente: Web

5.3.5.2. Análisis de la información para Equipos de Patio Taller

Adicionalmente, en función de la definición de las funciones principales de Patios y Talleres presentado en la referencia citada del proyecto Regiotram Occidente, se pueden mencionar los siguientes estudios que corresponden al prediseño de los Patios y Talleres que no se encuentran en la información secundaria consultada y que serán necesarios para el prediseño de la propuesta del Corredor Férreo del Sur:

- El dimensionamiento de Patios y Talleres
- El Puesto de Mando Local de Patios y Talleres
- Talleres y fosas disponible para el material rodante
- Las Comunicaciones del Patio

Entre los equipos a tener presente para el Corredor Férreo del Sur que no se encontraron en el documento de Regiotram Occidente, se mencionan:

- Stingers
- Cargadores de Baterías de tren
- Bateadora
- Perfiladora de balasto
- Esmeriladora de rieles
- Vehículos equipados para Mantenimiento de Catenarias

- Grupo motocompresor del sistema de aire comprimido
- Volteador de bogíes con plataforma elevadora
- Mesa para alineación de bogíes
- Herramientas neumáticas para desarmado de bogíes, ejes, motores de tracción, etc.
- Torno para mecanizar ruedas y ejes
- Máquinas para lavar bogíes y piezas
- Máquina de soldar TIG
- Entre otros

5.3.6. Operaciones Ferroviarias

La Normativa destacada para este componente se lista a continuación:

- EN 15531-1 Interfaz de servicio para información en tiempo real (SIRI): Transporte público – Servicio interfaz para información en tiempo real, relativa a las operaciones de transporte público - Parte 1: Contexto y marco
La información en tiempo real puede intercambiarse entre varias organizaciones diferentes, o entre diferentes sistemas que pertenecen a la misma organización. Entre las interfaces clave se incluyen las siguientes:
 - Entre los centros de control de vehículos de transporte público, por lo general, para la gestión de flotas y redes.
 - Entre un centro de control y un sistema de suministro de información: generalmente, para proporcionar información operativa para su presentación al público.
 - Entre sistemas de suministro de información: en general, compartir información para garantizar que la información disponible públicamente sea completa y completa.
 - Entre los sistemas de suministro de información y los sistemas de agregación de datos que recopilan e integran datos de muchas fuentes diferentes y diferentes tipos de proveedores de datos y luego los distribuyen.
 - Entre los sistemas de suministro de información y los dispositivos de información de los pasajeros, como teléfonos móviles, navegadores web, etc.
- EN 12896 Modelo de datos de referencia para el transporte público

El modelo europeo de datos de referencia para el transporte público es una oferta a las empresas de transporte público y otros proveedores de servicios relacionados con el proceso de información y transporte de pasajeros, a los proveedores de productos de software que respaldan estos procesos, y a consultores y otros expertos que actúan en el campo del transporte público en el sentido más amplio. El modelo de datos de referencia puede respaldar el desarrollo de aplicaciones de software, su interacción o combinación en un sistema de información integrado, y la

organización del sistema y la gestión de la información que rigen la utilización del entorno telemático existente en una empresa (o grupo de empresas) que ejecuta aplicaciones informáticas, apoyando las diferentes áreas funcionales del transporte público.

Aunque está diseñado principalmente para documentar las necesidades de información de una empresa de transporte público de forma bien definida y estructurada, el modelo de datos de referencia también puede servir como punto de partida y referencia para la definición de un esquema de base de datos. Se necesita un esquema de base de datos para la implementación física de los sistemas de almacenamiento de datos para que las aplicaciones los utilicen directamente o para el intercambio de datos entre aplicaciones a través de interfaces.

- EN 50159 Aplicaciones ferroviarias-Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Seguridad- comunicación relacionada en sistemas de transmisión. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Aplicaciones ferroviarias. Comunicación relacionada con la seguridad en sistemas de transmisión. Esta norma europea se aplica a los sistemas electrónicos de seguridad que utilizan un sistema de transmisión abierto para comunicación. Da los requisitos básicos necesarios para obtener una transmisión segura entre equipos de seguridad conectados al sistema de transmisión abierto.

Las propiedades y el comportamiento del sistema de transmisión abierto solo se emplean para la definición de las prestaciones, pero no para la seguridad. Por lo tanto, desde el punto de vista de la seguridad, el sistema de transmisión abierto puede tener potencialmente cualquier propiedad, como diferentes medios de transmisión, almacenamiento de mensajes, accesos no autorizados, etc. el proceso de seguridad sólo deberá basarse en propiedades que hayan sido demostradas en el caso de seguridad

- EN 50506 Guía de aplicación para EN 50129, Comunicación, señalización y procesamiento Sistemas.

Se trata de una guía de aplicación para la aceptación cruzada, como un Informe Técnico sobre la norma básica. Es aplicable a los mismos sistemas y se dirige a la misma audiencia que el propio estándar EN 50129. Proporciona información adicional sobre la aplicación de EN 50129 a la aceptación cruzada. Por lo tanto, se trata de la aceptación por parte de una autoridad de seguridad de un sistema o producto previamente aceptado en un entorno y/o contexto diferente, lo que a menudo se denomina aceptación cruzada. Se dedica principalmente a evaluadores de seguridad, autoridades de seguridad, validadores y gerentes de seguridad.

5.3.6.1. Plan Operacional Preliminar de la PLMB

La PLMB será una línea con una longitud en explotación de 25,19 km y 27 estaciones. En el extremo inicial de la línea, están ubicados los patios de cocheras y talleres de la línea. La conexión con la línea se realiza mediante un ramal técnico de 5,62 km de longitud. En el extremo final de la línea, después de la estación de Calle 127, se han dispuesto dos vías mango con una triple función:

- Inversión de marcha,
- Depósito de trenes para las transiciones de hora punta – hora valle y al final del período de explotación
- En caso de ampliarse la línea en un futuro, la construcción de la ampliación no interferirá en la explotación normal de la línea.

A lo largo de la línea se han dispuesto desvíos en algunas de las estaciones intermedias. La misión de estos aparatos de vía es la gestión de las circulaciones en caso de incidencia en la línea.

Se han dispuesto los desvíos de forma que en las zonas de mayor carga de demanda únicamente hay una estación sin proteger, en cambio en las zonas de menor carga de demanda hay dos estaciones sin proteger.

Del estudio de demanda de referencia “Primera Línea de Metro de Bogotá. Estimación de Demanda, de enero de 2014, elaborado por Steer Davies Gleave para Consorcio L1.” Se determinaron dos horizontes temporales con una carga por tramo máxima en la hipótesis de mayor demanda de:

- Año 2021: 48.000 viajeros a la hora y por sentido.
- Año 2050: 80.000 viajeros a la hora y por sentido.

Del estudio de Material Rodante, de referencia 202006-DE-PR24-DOC-04, se determinó que la capacidad máxima del tren es de 2.000 viajeros en condiciones EL6, se determinaron las características de tracción del tren, frenado y modo de conducción GoA4. Con estos datos, junto a las características geométricas de la línea y la ubicación de las paradas programadas, se ha procedido a la realización de simulaciones de tiempos de recorrido. Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas se muestran en la siguiente tabla.

METRO BOGOTÁ LÍNEA 1: PORTAL DE LAS AMÉRICAS - CALLE 127								
TIEMPOS DE EXPLOTACIÓN								
ESTACIÓN	PK	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES	TIEMPO PARADA	T1	T2	T3	T4	
PORTAL DE LAS AMERICAS	1+041		00:00:30					
CASABLANCA	1+820	0+779	00:00:20	00:00:58	00:01:01	00:01:02	00:01:02	
VILLAVICENCIO	2+505	0+685	00:00:30	00:00:54	00:00:57	00:00:58	00:00:58	
PALENQUE	3+379	0+873	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:06	
KENNEDY	4+177	0+798	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:01	00:01:01	
BOYACÁ	5+434	1+257	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:22	
AV. 1º DE MAYO	6+247	0+813	00:00:20	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:01:03	
AVENIDA 68	7+074	0+827	00:00:40	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:01:03	
ROSARIO	8+243	1+168	00:00:20	00:01:12	00:01:16	00:01:18	00:01:18	
NQS	9+618	1+375	00:00:30	00:01:22	00:01:26	00:01:29	00:01:29	
SANTANDER	10+928	1+310	00:00:30	00:01:21	00:01:25	00:01:28	00:01:28	
NARIÑO	11+719	0+791	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:01	00:01:01	
HORTUA	12+539	0+820	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:06	
SAN VICTORINO	13+835	1+296	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26	
LIMA	14+495	0+660	00:00:30	00:00:53	00:00:56	00:00:57	00:00:57	
LA REBECA	15+163	0+668	00:00:30	00:00:51	00:00:54	00:00:55	00:00:55	
PARQUE NACIONAL	16+525	1+363	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26	
GRAN COLOMBIA	17+435	0+909	00:00:20	00:01:02	00:01:05	00:01:07	00:01:07	
MARLY	18+151	0+717	00:00:20	00:00:53	00:00:56	00:00:57	00:00:57	
SANTO TOMAS	18+934	0+783	00:00:30	00:00:56	00:00:59	00:01:00	00:01:00	
PLAZA LOURDES	19+652	0+718	00:00:20	00:00:55	00:00:58	00:00:59	00:00:59	
AV. DE CHILE	20+749	1+096	00:00:40	00:01:09	00:01:12	00:01:15	00:01:15	
CALLE 85	21+686	0+938	00:00:30	00:01:02	00:01:05	00:01:07	00:01:07	
PARQUE 93	22+901	1+215	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:22	
CALLE 100	23+710	0+809	00:00:30	00:00:59	00:01:02	00:01:04	00:01:04	
USAQUEN	25+143	1+433	00:00:20	00:01:22	00:01:26	00:01:30	00:01:30	
CALLE 127	26+230	1+087	00:00:30	00:01:08	00:01:11	00:01:14	00:01:14	
Velocidad Comercial (km/h)			TIEMPO TOTAL	00:12:20	00:27:57	00:29:21	00:30:16	00:30:16
35.48								

Tabla 1 Simulación de Tiempos de Recorrido

Ambos sentidos de circulación son idénticos en cuanto a los tiempos de recorrido. A los tiempos de simulación T1 se le han añadido los márgenes de regularidad habituales en estos tipos de líneas, resultando un tiempo final T4 de 30 minutos 16 segundos de tiempos de recorrido entre estaciones. Los tiempos de parada en las estaciones, se determinaron en función de los viajeros subidos/bajados obtenidos en el estudio de demanda, las características del tren (número de puertas por costado y sus dimensiones) y las características del tipo de viajero que lo usará (viajero habitual sin maletas).

Con estos datos se determinaron los tiempos necesarios de parada. El tiempo mínimo de parada es de 20 segundos. Del estudio de demanda, se obtuvieron las distribuciones horarias de la demanda para un día laborable, sábados y domingos y festivos.

Con la distribución de la demanda, se procedió a realizar la oferta de plazas a lo largo del día, obteniéndose una distribución de frecuencias. En la siguiente tabla se muestra la oferta de plazas para un día laborable en el año 2021.

METRO BOGOTÁ (Oferta Plazas - Día Laborable) (2021)							
LÍNEA 1: Portal de las Américas - Calle 127							
Hora		Frec (seg)	Nº Circ /Sent	Demanda Tramo Mas Cargado	Plazas Ofertadas	% Ocup estimada	Nº Trenes en Servicio
5 : 00 - 6 : 00		180	20	32 648	40 000	81.62%	30
6 : 00 - 7 : 00		150	24	43 530	48 000	90.69%	36
7 : 00 - 8 : 00		150	24	43 530	48 000	90.69%	36
8 : 00 - 9 : 00		180	20	26 118	40 000	65.30%	30
9 : 00 - 10 : 00		270	13	21 765	26 667	81.62%	20
10 : 00 - 11 : 00		270	13	21 765	26 667	81.62%	20
11 : 00 - 12 : 00		270	13	21 765	26 667	81.62%	20
12 : 00 - 13 : 00		180	20	32 648	40 000	81.62%	30
13 : 00 - 14 : 00		270	13	23 942	26 667	89.78%	20
14 : 00 - 15 : 00		270	13	23 942	26 667	89.78%	20
15 : 00 - 16 : 00		270	13	23 942	26 667	89.78%	20
16 : 00 - 17 : 00		180	20	30 471	40 000	76.18%	30
17 : 00 - 18 : 00		180	20	39 177	40 000	97.94%	30
18 : 00 - 19 : 00		180	20	30 471	40 000	76.18%	30
19 : 00 - 20 : 00		300	12	21 765	24 000	90.69%	18
20 : 00 - 21 : 00		300	12	21 765	24 000	90.69%	18
21 : 00 - 22 : 00		300	12	17 412	24 000	72.55%	18
22 : 00 - 23 : 00		450	8	8 706	16 000	54.41%	12
TOTAL CIRCULACIONES							
		1 SENTIDO	292				
		2 SENTIDOS	584				

Tabla 2 - Oferta de plazas para un día laborable en el año 2021

En esta tabla se muestran hora a hora, la frecuencia de paso en la línea, el número de circulaciones a la hora, la demanda estimada en el tramo más cargado, la oferta de plazas que se realiza, el grado de ocupación del tren en el tramo más cargado y el número de trenes en operación en cada hora. Con todos estos datos, se ha procedido a realizar el dimensionamiento de la flota necesaria para cada horizonte temporal.

5.3.6.2. Análisis del Plan Operacional

La información de la PLMB es considerada de utilidad, pero se requeriría también de los siguientes factores:

Datos de demanda:

- Perfiles de la demanda por tramos entre estaciones en ambos sentidos, para la hora pico y hora valle de los días laborales, además de sábados y domingos.
- Demanda diaria máxima.
- Demanda anual para cada año del horizonte de tiempo del proyecto.
- Número de viajeros que ingresan o salen de cada estación en hora pico y hora valle (Telescopios de carga).

Es necesario conocer los datos del trazado y diseño geométrico de la línea ferroviaria, así como la configuración de la línea.

- Trazado planialtimétrico de la línea, con indicación y definición acotada de todas las estaciones, desvíos, apartaderos, retornos, señales y demás elementos de vía.
- Rampas, pendientes y Radios de curvatura de la línea, así como el PK de cada uno de ellos.
- Limitaciones de velocidad si existen con indicación del inicio y el fin del tramo con la limitación de la velocidad.
- Ubicación de las estaciones detalladas con cota de inicio y fin de los andenes o plataformas de cada estación indicando además el tipo de retorno si es estación terminal.

La Consultoría cuenta con un software propio denominado RAILTRAFFIC para el desarrollo de este componente.

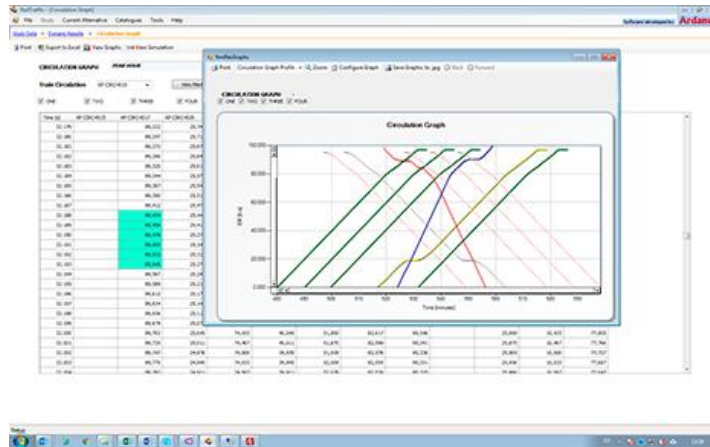


Ilustración 52 Software para el análisis de explotación de las líneas ferroviarias en función de trazado, material rodante y tipo de señalización. Permite realizar las simulaciones de marchas y análisis de capacidad.

Fuente: Ardanuy.com

También se cuenta con un Software para la simulación del flujo de personas en grandes espacios, tanto en condiciones normales como en situación de emergencia. El programa simula el movimiento individual de las personas través de espacios geoméricamente definidos.

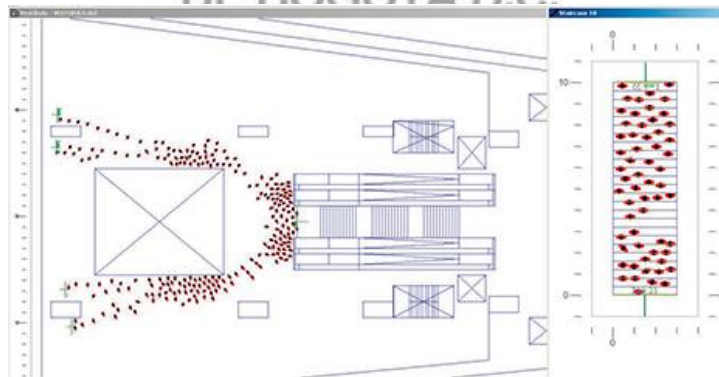


Ilustración 53 RAILGETAWAY de Ardanuy Ingeniería

Fuente: www.ardanuy.com

5.4. SISTEMAS NO FERROVIARIOS

Entre los elementos no ferroviarios a estudiar, necesarios para el mantenimiento y la operación en sistemas ferroviarios se pueden listar los siguientes:

- Sistema de Comunicación Corporativo
- Ascensores
- Escaleras Mecánicas
- Sistema contra incendios
- Instalaciones Eléctricas
- Ventilación
- Iluminación
- Climatización
- Instalaciones Hidrosanitarias

Normativa

- RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas para la República de Colombia
- NTC 2050: Código eléctrico colombiano
- NTC 5183 Ventilación Para una Calidad Aceptable del Aire en Espacios Interiores
- Resoluciones de la CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas de Colombia.
- RETILAP: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.
- EN 50121 Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad electromagnética.
- EN 50122 Aplicaciones ferroviarias. Medidas de protección relativas a la seguridad eléctrica, puesta a tierra y circuito de retorno.
- EN 50123 Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Aparata de corriente continua.
- EN 50124 Aplicaciones ferroviarias. Coordinación de aislamiento.
- EN 300 253 Ingeniería Ambiental (EE); Conexión y Puesta a tierra
- Configuración dentro de los Centros de Telecomunicaciones; ETSI- Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
- EN 50173-1 Tecnología de la información — Sistemas de cableado genéricos; Parte 1: Requisitos generales; (se utilizará para conectar a tierra cables de comunicación)
- IEC 60364 Instalaciones eléctricas de baja tensión – Parte 1: Principios fundamentales, evaluación de características generales, definiciones, partes 1 a 5
- IEC 60947 Equipamiento de baja tensión, partes 1 a 8
- IEC 61000-3-6 Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 3-6: Límites - Evaluación de los límites de emisión para la conexión de instalaciones distorsionadoras a la potencia MV, HV y EHV.

- IEC 61140 Protección contra descargas eléctricas – Aspectos comunes para la instalación y el equipo

Este apartado de normativas tiene mucho en común con el componente de Estaciones.

En esta etapa (RAI) por no conocer aun la alternativa más adecuada para el proyecto, se dejan abiertamente la consideración de todas las normas listadas, incluso sin limitarse a ellas, con el propósito de que en la próxima etapa de profundización de la alternativa seleccionada puedan ser objeto de cita y referencia.

5.4.1. Sistemas no Ferroviarios de otros Sistemas de Transporte Férreo

De los documentos consultados no se encuentra contenido aprovechable relacionado con los Sistemas No Ferroviarios.

5.4.2. Análisis Información Sistemas No Ferroviarios

El no conseguir información relacionada para Los Sistemas No Ferroviarios en los documentos consultados no representa un obstáculo para la selección de la tecnología en la propuesta, debido a que se trata de elementos que comúnmente deben ser instalados en la industria.

5.5. INSTALACIONES FERROVIARIAS

Las instalaciones Ferroviarias corresponden a Talleres de mantenimiento y reparación necesarios para una óptima operación del corredor férreo y se especifican áreas de:

- Vías de mantenimiento menor
- Vías de mantenimiento mayor.
- Vía de pruebas
- Vía de lavado intensivo.
- Vía de soplado.
- Vía de pintura.
- Vía de re-perfilado de ruedas y torno de foso.
- Vía de viraje de sentido de marchas de los trenes.
- Tornamesas para bogíes.
- Máquina lavadora de trenes con sistema recuperación y tratamiento de agua.
- Torno para mecanizado de ruedas.
- Torno para ejes montados.
- Cabina de lavado de bogíes.
- Cabina de soplado.

- Talleres para mantenimiento de equipos: motores, componentes neumáticos, pantógrafos o frotador para tercer riel, etc.
- Puente grúas.
- Compresor de aire.
- Columnas de levante de trenes (Fijas y móviles).
- Columnas de levante para cambio de motores de tracción.
- Equipo para pruebas de motores de tracción.
- Mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogíes.

Normativa

Definición de Reglas y Normas Internacionales que aplican para este componente:

- Unión Internacional de Ferrocarriles – UIC;
- Organización Internacional de Normas – ISO;
- Convención Electrotécnica Internacional – IEC;
- Reglamento Federal Alemán sobre la construcción y operación de sistemas de tránsito de trenes ligeros BOStrab
- Normas Europeas – EN;
- U.S. National Fire protection Association – NFPA;
- British Standard Institute – BSI;
- AFNOR, Asociación Francesa de Normalización – NF;
- Instituto Alemán de Normalización – DIN.

Se presentan las más específicas:

- ISO 14001 Sistemas de Gestión Ambiental
- ISO 14122-1/2/3 Seguridad de las máquinas
- ISO 14738 Seguridad de las máquinas. Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo asociados a máquinas.
- NF EN 1493 (2011-05-01) Elevadores de vehículos
- EN 1991-1-1 Euro código 1 — Acciones sobre estructuras — Parte 1-1: Acciones generales — Densidades, peso propio, cargas impuestas para edificios
- EN 12100 Seguridad de las máquinas, Principios generales de diseño
- EN 13849 Seguridad de la maquinaria – -partes relacionadas de los sistemas de control
- ISO 14122-1/2/3 Seguridad de las máquinas — Medios permanentes de acceso a las máquinas
- EN 15273-1 Aplicaciones ferroviarias — Gálibos — Parte 1: General — Normas comunes para infraestructuras y material rodante
- EN 17018 Aplicaciones ferroviarias - Mantenimiento del material rodante - Términos y definiciones
- EN 50128 Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Software para sistemas de control y protección ferroviarios

- EN 50129 Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento - Comunicación relacionada con la seguridad en los sistemas de transmisión
- EN 60204-1 Seguridad de las máquinas – Material eléctrico de las máquinas – Parte 1 Normas generales
- EN 60204-32 Seguridad de las máquinas - Equipos eléctricos de las máquinas - Parte 32: Requisitos para las máquinas de elevación
- EN 60529 Grados de protección proporcionados por los recintos (código IP)

5.6. ESTACIONES

Este apartado tendrá como objetivo presentar las diferentes tecnologías o equipamiento técnico que deben encontrarse en las Estaciones, debido a que el estudio de la Arquitectura de estas se presenta en las disciplinas de Estructuras y Urbanismo, sin embargo, en la normativa aplicable se observarán puntos en común con estas otras disciplinas mencionadas.

Con el fin de garantizar la calidad técnica y cumplimiento legal de los productos, en este caso específico “Estaciones” se considerarán los códigos y estándares aplicables al proyecto del Corredor Férreo del Sur. Las principales normas y reglamentos se presentan a continuación:

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (2010), correspondiente a la segunda actualización, expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, que adopta el Reglamento de Construcciones Sismo-Resistentes o la norma vigente en caso de actualización.
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP
- Normas Técnicas Colombianas (NTC), entre las cuales se destacan, sin limitarse a estas:
- NTC 6047 – Accesibilidad al medio físico.
Esta Norma establece los criterios y los requisitos generales de accesibilidad y señalización al medio físico requeridos en los espacios físicos de acceso al ciudadano, en especial, a aquellos puntos presenciales destinados a brindar atención al ciudadano, en construcciones nuevas y adecuaciones al entorno ya construido. En este sentido, establece los estándares que deben seguir las entidades de la Administración Pública, y las entidades del sector privado que ejerzan funciones públicas, para que todos los ciudadanos, incluyendo aquellos que tengan algún tipo de discapacidad, accedan en igualdad de condiciones.

- NTC 6047 sobre movilidad reducida. Condición de posibilidad de acceso y salida suministrado por edificaciones o partes de estas para personas, con independencia de su discapacidad, edad o género.
La accesibilidad incluye la facilidad para aproximación, entrada, evacuación y/o uso de la edificación y sus servicios e instalaciones, en forma independiente, por parte de todos los usuarios potenciales de la edificación, con seguridad para la salud, protección y bienestar individual durante el curso de estas actividades. Se aplicará para la selección y ubicación de medios de acceso como ascensores, escaleras mecánicas, puertas de ingreso, elevadores en escaleras fijas, entre otros.
- NTC 4144 Accesibilidad a Edificios y Espacios Urbanos.
Esta norma especifica las características que deben tener las señales ubicadas en los edificios y en los espacios urbanos y rurales, utilizadas para indicar la condición de accesibilidad a todas las personas, así como también indicar aquellos lugares donde se proporcione información, asistencia, orientación y comunicación.
- NTC 5183 Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores.
El propósito de esta norma es especificar las tasas máximas de ventilación y calidad del aire interior, aceptable para los ocupantes humanos, al tiempo que pretende minimizar la posibilidad de efectos adversos para la salud
- NTC 4139 - Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte a la población en general y en especial de las personas con discapacidad.
Esta norma establece la imagen que contiene el símbolo, usado para informar al público, que los señalizado es accesible, franqueable y utilizable por todas las personas.
- Ley 361 de 1997 - Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas en situación de discapacidad y se dictan otras disposiciones.
- Normas NTC 4774 Accesibilidad de las personas al medio físico. espacios urbanos y rurales, cruces peatonales a nivel, elevados o puentes peatonales y pasos subterráneo
- Especificaciones Técnicas de Construcción de Carreteras INVIAS; 2013.

Las anteriores se consideran los estándares de referencia. Se tendrá en cuenta, adicionalmente, la normatividad local aplicable y otras de necesaria consulta de acuerdo con el alcance.

5.6.1. Estaciones de la PLMB

5.6.1.1. Características de las Estaciones del Metro de Bogotá

El trazado de la PLMB incluye dieciséis (16) estaciones de las cuales diez (10) tienen conexión con el sistema de BRT de la ciudad. Las estaciones serán construcciones livianas, transparentes y con arquitectura bioclimática, que permitirán reducir el tamaño de las estructuras, aprovechar el aire fresco y la luz solar y disminuir el consumo de energía. Además, contarán con escaleras eléctricas y fijas, ascensores, baños públicos y ofrecerán puntos de información y recarga de tarjetas, atención en primeros auxilios y otros servicios para comodidad de los usuarios.

Las estaciones han sido diseñadas para lograr los siguientes objetivos:

- Renovación natural del Aire
- Diseño bioclimático
- Evitar ingreso de humo al interior de la estación
- Evitar caída de lluvia sobre andenes de embarque
- Son transparentes para hacerlas más seguras
- Diseñadas con lenguaje Arquitectónico:
 - Proveer identidad al proyecto en contexto urbano e internacional
 - Imagen contemporánea
 - Formas de orgánicas para contrastar con edificios
- Acceso a discapacitados a partir de los siguientes criterios:
 - Ley estatutaria 1618 de 2013 por medio de la cual se establecen las disposiciones para garantizar el pleno ejercicio de los derechos de las personas con discapacidad.
 - Decreto 1660 de 2003 por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y en especial de las personas con discapacidad.
 - Ley 1346 de 2009 por medio de la cual se aprueba la convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, adoptada por la asamblea general de las Naciones Unidas el 13 de diciembre de 2006.
 - Decreto 470 de 2007 (octubre 12) por el cual se adopta la política pública de discapacidad para el distrito capital.
- Dentro de los accesos contemplados se encuentran rampas de acceso desde el urbanismo y accesos verticales (ascensores) hasta el nivel de andenes de metro de la estación para el ingreso al tren.

5.6.1.2. Tipología de Estaciones

Las estaciones diseñadas pueden agruparse en 3 tipologías:

- Sencillas: estaciones que no tienen conexión con otros modos, y su acceso se realiza desde el nivel calle (nivel 1) en los edificios laterales hasta el nivel andén (nivel 3) mediante pasarelas.
- Integrales: Tienen conexión con Transmilenio, que entrega al nivel intermedio (nivel 2) de pasarelas; también incluyen pasarelas superiores al nivel del andén (nivel 3) de embarque.
- Complejas: Estaciones que involucran mezanine o pasarelas integradas en el cuerpo central de estación y su acceso se realiza desde el nivel calle (nivel 1) el cuerpo central hasta el nivel andén (nivel 3) mediante pasarelas o mezanine.



Ilustración 54 Representación de una Estación Simple

Por otro lado, para posibilitar una sistematización constructiva, se ha buscado resolver las estaciones de la PLMB con el mínimo de tipos a repetir a lo largo del trazado.

Esto permitirá unificar las soluciones con las que se resuelven las estaciones, redundando en una simplificación y optimización del proceso constructivo y facilitando su ejecución en obra.

También se conseguirá una imagen unitaria de las estaciones, dotando a toda la línea de una identidad clara y reconocible.

Al resolverse todas las estaciones mediante estos cinco tipos, se facilita al usuario familiarizarse rápidamente con el funcionamiento de las mismas y reconocer rápidamente el tipo en el que se encuentra, sus recorridos, circulaciones y localización de los diversos usos de la estación.

Junto a estos tipos, aparecerán estaciones especiales, bien por su intermodalidad con sistemas masivos de transporte (futuras líneas de tranvía, de Metro, estación terminal de autobuses), bien por la singularidad de su inserción urbana.

Aunque basadas en estos tipos, cada estación se particularizará para recoger las singularidades de su ubicación, conexiones intermodales, etc.

5.6.1.3. Instalaciones de las estaciones

Todas estaciones de la PLMB dispondrán de las instalaciones necesarias, con los niveles de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad adecuados, para conseguir la prestación de un servicio de transporte de viajeros de calidad.

Todas las instalaciones han sido proyectadas conformes, en primera instancia, a las Normas y Reglamentos colombianos aplicables y, de manera complementaria, a las Normas Internacionales. Las estaciones dispondrán de las siguientes instalaciones:

- Instalación eléctrica
- Iluminación
- Ventilación y climatización
- Equipos electromecánicos
- Instalación hidrosanitaria
- Protección contra incendios
- Control de humos

5.6.2. **Análisis de la Información con Referencia a Estaciones**

Se busca conocer al detalle los insumos que existen, evaluando y determinando cuáles de ellos son un componente crítico en la etapa de diseño de prefactibilidad, cuales siguen serán válidos y pertinentes y cuales requieren actualizarse o contienen información incompleta u obsoleta, teniendo en cuenta los parámetros que se han planteado en el proyecto.

En los datos obtenidos se mencionan características referentes a la Estructura de las Estaciones y temas correspondientes al apartado de Urbanismos, también las instalaciones o tecnología necesaria. Pero no se halla información de profundidad que mencione los sistemas tecnológicos que deben estar presente y sus interfaces, por lo tanto, la información recopilada y presentada en resumen en este documento se considera insuficiente.

Entre los equipos más destacados que deben contener las Estaciones y que se den considerar como elementos necesarios en la integración de la tecnología en las estaciones se pueden considerar:

- Escaleras Mecánicas
- Ascensores
- Sistema de Recaudo
- Equipos para personas con movilidad reducida
- Sistema CCTV
- Sistema de Sonería
- Avisos Audiovisuales al Público
- Publicidad
- Puertas de Anden
- Redes Wifi al Público
- Entre otros

5.7. MATERIAL RODANTE

Los sistemas a bordo cumplirán con todas las normas de sistemas centralizados y distribuidos fuera de bordo aplicables.

- EN 12663 Aplicaciones ferroviarias – Estructural
Esta norma europea especifica los requisitos mínimos estructurales para las cajas de vehículos ferroviarios.

Esta norma europea especifica las cargas que deberían poder soportar las cajas de los vehículos, identifica cómo se deberían utilizar los datos de los materiales y establece los principios que se utilizan para la validación del diseño mediante análisis y ensayos. Esta norma europea se aplica a locomotoras y material rodante de viajeros. La Norma EN 12663-2 facilita el procedimiento de verificación para vagones de mercancías y también se refiere a los métodos contenidos en esta norma como una alternativa para los vagones de mercancías.

Los vehículos ferroviarios se clasifican en categorías definidas en función de los requisitos estructurales de las cajas de vehículos. Determinados vehículos pueden no corresponder a ninguna de estas categorías definidas; los requisitos estructurales para dichos vehículos ferroviarios deberían ser parte de la especificación y estar basados en los principios establecidos en esta norma europea.

- EN 50121 Aplicaciones ferroviarias - Compatibilidad electromagnética. La infraestructura ferroviaria tiene un complejo entorno electromagnético formado por muchos sistemas de señalización, tracción, telecomunicaciones y comunicaciones de radio.

La Compatibilidad electromagnética (CEM) entre los sistemas eléctricos y electrónicos es un requisito esencial para el funcionamiento seguro y fiable del equipo. Es muy evidente que la interferencia causada por los sistemas de tracción puede perturbar la señalización, con consecuencias potencialmente peligrosas. El principal problema del carril en torno a la compatibilidad electromagnética es la función diferenciada de los carriles. Originalmente los rieles eran exclusivamente un sistema de guiado mecánico, pero la llegada de la electricidad y el crecimiento tecnológico ha hecho de la infraestructura ferroviaria un sistema complejo en el que interactúan diferentes equipos. La presencia de equipos de tecnología avanzada hace que el problema de la interferencia sea una variable extremadamente importante.

- EN 50125 Aplicaciones ferroviarias - Condiciones ambientales de los equipos. El campo de aplicación de esta norma europea cubre las definiciones y rangos de los parámetros siguientes:

Altitud, temperatura, humedad, movimiento del aire, lluvia, nieve y granizo, hielo, radiación solar, rayo y contaminación para el material rodante y el equipo embarcado (mecánico, electromecánico, eléctrico, electrónico). La norma define en particular las condiciones de interfaz entre el vehículo y su entorno ambiental. Las condiciones ambientales definidas se consideran las normales en servicio.

- EN 50128 Aplicaciones ferroviarias-Sistemas de comunicaciones, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección ferroviaria.

La Norma EN-50126 considera los sistemas en su concesión más amplia, mientras que la Norma EN-50129 se refiere al proceso de aprobación para sistemas particulares que pueden exigir dentro del sistema global de protección y control del ferrocarril. Esta norma se concentra en los métodos que se necesitan utilizar para suministrar software que satisfaga los requisitos de integridad de la seguridad definidos por las normas antes mencionadas.

El concepto de clave de esta norma es el de niveles de integridad de seguridad del software. Cuanto más peligrosas sean las consecuencias de un fallo de un software, más alto será el nivel de integridad de seguridad exigido al mismo

- EN 50129 Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización. Los sistemas relacionados con la seguridad para la señalización incluyen aspectos de hardware y software. A la hora de instalar sistemas completos relacionados con la seguridad, se deben tener en cuenta ambas partes implicadas en el ciclo de vida completo del sistema. En esta norma se definen los requisitos para el hardware relacionado con la seguridad y para el sistema en su totalidad. Esta norma se ocupa de la evidencia que es necesaria presentar para la aceptación de los sistemas relacionados con la seguridad, especifica aquellas actividades del

ciclo de vida que deben realizarse antes de la fase de aceptación, seguidas de aquellas actividades adicionales planeadas que se tienen que realizar después de la fase de aceptación. Se requiere por lo tanto la justificación de seguridad para el ciclo de vida completo

- EN 50155 Aplicaciones ferroviarias - Equipos electrónicos utilizados en el material rodante

Esta norma europea se aplica a todos los equipos electrónicos de control, regulación, protección, diagnóstico, alimentación, etc. instalados en vehículos ferroviarios.

Para los propósitos de esta norma europea, se define el equipo electrónico como el equipo compuesto principalmente por dispositivos semiconductores y componentes asociados reconocidos. Estos componentes estarán montados principalmente sobre tarjetas impresas.

Los sensores (de corriente, tensión, velocidad, etc.) y las unidades de control de semiconductores (SDU) para los dispositivos electrónicos de potencia están cubiertos en esta norma. La unidad de control de semiconductores (SDU) completa y los convertidores de potencia están cubiertos en la Norma EN 61287-1.

Esta norma europea cubre las condiciones de funcionamiento, los requisitos del diseño, la documentación y los ensayos de los equipos electrónicos, así como los requisitos básicos de hardware y software que se consideran necesarios para un equipo apto y fiable.

- EN 50159 Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento (ver en apartado de Señalización)
- EN 60529 Grados de protección proporcionados por las carcasas (código IP). Establece la estructura del código IP a través de una serie de dígitos, que corresponden a los parámetros que definen el grado de protección.
- EN 14750 Aplicaciones ferroviarias - Aire acondicionado para material rodante urbano y suburbano.

Esta norma europea se aplica a los vehículos regionales y/o para suburbano y también a vehículos para metro y tranvía equipados con sistemas de refrigeración y/o calentamiento/ventilación. Esta norma europea excluye a los vehículos de grandes líneas y las cabinas de conducción, que se consideran en otras normas europeas.

Esta norma europea especifica los parámetros de confort para los compartimientos o salones individuales (de un piso o de doble piso).

Estos parámetros de confort se aplican de forma similar a las áreas reservadas en el tren para el personal.

Las condiciones bajo las cuales los parámetros físicos mencionados en esta norma europea se deben mediar se definen en la Norma EN 14750-2.

- EN 14752 Aplicaciones ferroviarias - Sistemas de entrada lateral de la carrocería para material rodante.

Se aplica a los sistemas de acceso laterales en vehículos ferroviarios de nuevo diseño destinados al transporte de viajeros tales como tranvías, metros, trenes de cercanías, trenes de media y larga distancia y trenes de alta velocidad. Los requisitos de este documento se aplican así mismo a vehículos existentes en fase de renovación del sistema de puertas, en la medida en que puedan cumplirse de forma razonable.

Esta Norma especifica así mismo los requisitos correspondientes a los ensayos de los sistemas de acceso.

Hace referencia a sistemas de acceso accionados manualmente y motorizados. Los capítulos referidos a la operación motorizada no se aplican a las puertas de funcionamiento manual.

- EN 15273 Aplicaciones ferroviarias - Anchos de vía
 - Define los diferentes perfiles necesarios para la implantación, verificación y mantenimiento de los distintos obstáculos cercanos al gálibo de implantación de obstáculos;
 - Enumera los diferentes fenómenos a tener en cuenta para determinar el gálibo de implantación de obstáculos;
 - Define una metodología que se puede utilizar para calcular los diferentes perfiles, a partir de estos fenómenos;
 - Da las reglas para determinar la distancia entre los ejes de las vías;
 - Da las reglas a respetar en construcción de los andenes;
 - Da las reglas para determinar el gálibo del pantógrafo;
 - Enumera las fórmulas necesarias para calcular los gálibos de implantación de obstáculos del catálogo.

Los gálibos definidos incluyen el espacio que hay que liberar y mantener libre para admitir la circulación del material rodante, y las reglas de cálculo y de control destinadas al dimensionado del material rodante que circula sobre una o varias infraestructuras sin riesgo de interferencia.

Esta norma define metodologías para demostrar la compatibilidad entre la infraestructura y el material rodante.

- EN 45545 Aplicaciones ferroviarias - Protección contra incendios en vehículos ferroviarios. La norma EN 45545 es una unificación de criterios dentro de las

aplicaciones ferroviarias que se centra en materia de seguridad y protección contra incendios en vehículos ferroviarios de pasajeros.

- EN 50119 Aplicaciones ferroviarias - Instalaciones fijas - Líneas aéreas de contacto de tracción eléctrica.
Esta Normativa es de aplicación en sistemas de líneas aéreas de contacto en ferrocarriles pesados, ferrocarriles ligeros, trolebuses y ferrocarriles industriales pertenecientes a operadores públicos y privados.
Es de aplicación tanto en nuevas instalaciones de sistemas de líneas aéreas de contacto como en la renovación total de sistemas existentes de líneas aéreas de contacto. La Norma contiene los requisitos y ensayos para el proyecto de líneas aéreas de contacto, los requisitos para las estructuras, así como sus cálculos y verificaciones estructurales, y los requisitos y ensayos para el proyecto de conjuntos y partes individuales.
- IEC 60850 Aplicaciones ferroviarias – Tensiones de alimentación de sistemas de tracción.
Especifica las principales características de las tensiones de alimentación de los sistemas de tracción, tales como instalaciones fijas de tracción, incluidos los dispositivos auxiliares alimentados por la línea de contacto, y material rodante, para uso en vías férreas; sistemas de transporte masivo guiado; sistemas de transporte de materiales

5.7.1. Material Rodante del Sistema de la PLMB

5.7.1.1. Generalidades

La Primera Línea del Metro de Bogotá es un sistema complejo en el que los diferentes elementos que la componen (infraestructura, equipos, material rodante) deben ser coherentes entre ellos.

Para lograr esta meta, el material rodante debe cumplir con los siguientes objetivos generales:

- Adecuar eficientemente la demanda de transporte;
- Garantizar en todo momento la seguridad de los pasajeros, del personal y de los equipamientos e infraestructuras;
- Proporcionar una alta calidad de servicio para satisfacer a los pasajeros: aseo, rapidez, comodidad, regularidad, disponibilidad y continuidad del transporte público;
- Minimizar los costos para la colectividad. El material rodante cumple con normativas estándar de alta tecnología y con los requisitos de mantenimiento, aspectos de confort, comodidad y altos niveles de seguridad. La flota de la primera etapa de la PLMB es de 23 trenes y de formación de 6 o 7 coches.

5.7.1.2. Características básicas del Material Rodante

- El desplazamiento de los trenes se controla a través del CBTC o mediante una conducción con operador en caso excepcional;
- La dirección de la conducción normal es al costado derecho. Si es necesario, es posible la conducción al costado izquierdo, siempre que se cumplan las normas de seguridad;
- La velocidad operacional máxima autorizada en la red es de 80 km/h;
- La capacidad mínima de un tren a 6 pax/m², es de 1778 pasajeros; Los trenes cumplen con los requisitos y criterios operativos para la operación de la línea 1 definidos en el plan de operación y específicamente en la siguiente tabla:

Diagrama de puertas	Número de puertas por coche, por lado	4	
	Pasaje libre por puerta	1,60 m	
	Flujo de pasajeros por puerta	80 pasajeros/minuto	
Dimensión	Longitud total del tren (6 o 7 coches)	140 m	
	Ancho del tren	2,90 m	
Diagrama interior	Tipo	1 nivel	
	Intercirculación	En todo el tren	
	Norma de comodidad	6 pasajeros/m ²	
	Capacidad por tren, respetando la norma de comodidad	1778 pasajeros	
	Proporción de pasajeros sentados	10.8 %	
Desempeño	Velocidad máxima de servicio	80 km/h	
	Tasa mínima de motorización	60%	
	Masa estática (6 pax/m ²)	331 toneladas	
	Masa rotacional	8 %	
	Frenado de servicio	1 m/s ²	
Tiempo técnico	Aceleración máxima	0,86 m/s	
	Esfuerzo resistente = $A + B \cdot V + C \cdot V^2$	A	6236,54 N
		B	45,42 N*h/km
		C	0,93 N*h ² /km ²
Inversión del sentido de circulación	10 s		
Energía	Alimentación	Tercer riel	
	Tensión	750 V	

Ilustración 55 Requisitos y criterios operativos del material rodante para la operación de la PLMB

Fuente: Proyecto de la PLBM por Metro-Bog y la FDN

Las configuraciones de los trenes pueden ser de 2 tipos si cumplen con la capacidad requerida de 1778 pasajeros para un tren de longitud total de 140 m y 2,90 m de ancho:

- 6 coches / tren;
- 7 coches / tren.

Configuración con 6 coches por tren

La configuración propuesta con 6 coches tiene al menos:

- 4 coches intermedia motrices;
- 2 coches externos remolques;
- 5 pasillos de Inter circulación;
- 20 armarios técnicos;
- 2 espacios PMR;
- 2 pupitres escondidos;
- 2 enganches de acoplamiento;
- Espesor máximo del revestimiento interior: 10 cm.

Carga de referencia POP (6 pasajeros/m²)

La siguiente tabla constituye el cálculo de la carga normal operacional con un tren de configuración de 6 coches de 2,90 m de ancho, tomando los valores máximos de capacidad, es decir, sin PMR a bordo y considerando 6 pasajeros/m².

Además, se tiene en cuenta un peso medio de pasajero de 70 kg.

Tren de 6 coches	Peso Unitario (T)	Cantidad Coches	Numero Eje/Coche	Total Ejes/Tren	Total Tren Vacio (T)	Peso/Eje Vacio (T)	POP 6 p/m ²				
							Pasajeros Parados	Pasajeros Sentados	Total 6p/m ²	Total Peso Tren (T)	Peso/Eje (T)
Motriz	34,5	4	4	24	200	8,3	1032	176	1780	324,6	13,5
Remolque	31	2	4				484	88			
Total Pasajeros							1516	264			

Ilustración 56 Carga de referencia POP (6 pasajeros/m²) – Tren de 6 coches

Fuente: Proyecto de la PLMB por Metro-Bog y la FDN

5.7.1.3. Tensión de alimentación

El suministro de la energía eléctrica para la tracción del tren se efectúa en las vías principales y parte de las vías secundarias, a través de un tercer riel ubicado a nivel de la pista, con captación por su parte inferior.

La energía para la tracción es distribuida a través del tercer riel como polo positivo, los rieles de la vía férrea asegurarán el polo negativo de retorno de corriente. El voltaje del sistema de la tracción es de 750 Vcc, suministrado por las subestaciones, serán como sigue: Voltaje

nominal $750 + 20\%-30\%V$, por lo tanto: Voltaje de funcionamiento mínimo 525V, voltaje de funcionamiento máximo 900V.

La tracción máxima y el funcionamiento de frenado tienen que estar disponibles en los voltajes de fuente de la tracción de 525V para 900V. En caso de que el voltaje de fuente de la tracción se reduzca más a Pasajeros Parados, Pasajeros Sentados Total $6p/m^2$

El funcionamiento de la tracción disminuirá gradualmente y por lo tanto la corriente extraída de la fuente de la tracción no aumentará sobre un nivel admitido máximo. El sistema de control prevendrá la línea oscilación del voltaje e inestabilidad del equipo de la tracción. El consumo de energía es de 4,500kW al máximo incluyendo esfuerzo de la tracción y el consumo auxiliar. Cada vehículo de motor es equipado con cuatro frotadores con zapatas de contactos paralelos conectados con alambre en cada lado de cada bogie.

5.7.1.4. Modo de operación

Modo UTO: Operación automática en Goa4 => 80km/h max;

Modo manual: Operación en conducta manual degradado con velocidad reducida => 30 Km/h;

Circulación en el taller => 15 Km/h max;

Modo lavado: En la máquina de lavado automática => 3 Km/h;

Modo de socorro: Acoplamiento entre 2 trenes => 5 Km/h max.

5.7.1.5. Configuración del tren

La distribución entre motrices y remolques se define de acuerdo con:

- El nivel de adherencia suficiente;
- Motorización en modo degradado, para garantizar las prestaciones solicitadas;
- La dimensión térmica de los equipos de tracción en el volumen disponible por coche;
- La relación entre los coches motorizados y el número total de coches deberá ser del 60% para garantizar las prestaciones dinámicas en modo normal.

5.7.1.6. Dimensiones de los coches

Las dimensiones de los coches se definen de acuerdo con los siguientes antecedentes y documentos:

- Planos de trazado (curvas y perfil);
- Cortes funcionales;
- Interface con obra civil;

- Largo máximo entre plano del coche extremo con enganche será de 23 m (6 coches) o 20 m (7 coches), sin embargo, se podrá considerar una tolerancia de 1000 mm por efecto de los enganches extremos;
- Altura máxima desde la cabeza del riel al techo del tren (Sobre las tapas de toma de la ventilación): 3890 mm;
- Altura mínima libre desde el piso al cielo del coche: 2100 mm;
- La altura desde la cabeza del riel al piso del tren será constante en el largo total del tren (incluyendo la variación de la suspensión secundaria del tren) con independencia de la carga, será con ajuste automático: 1100 mm +50/-0;
- Ancho exterior de la caja será: 2900mm.

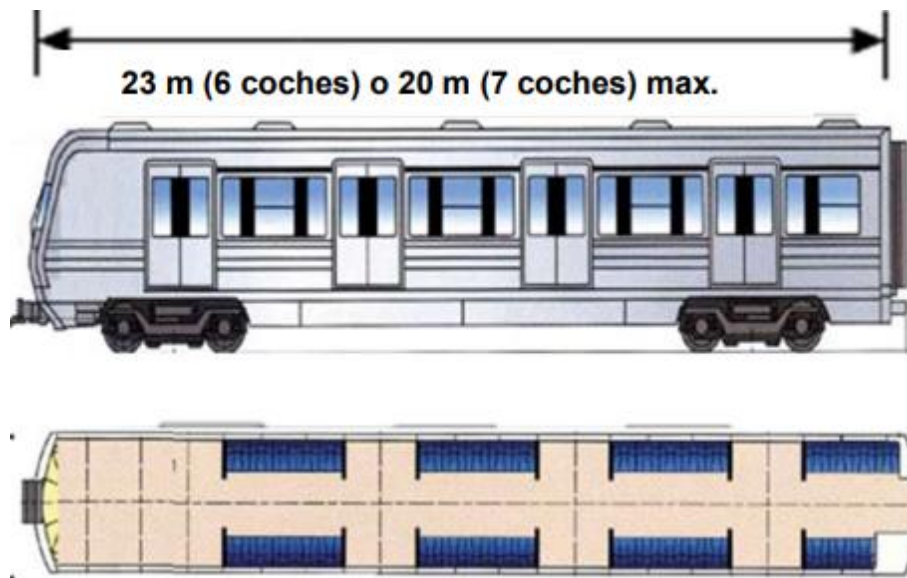


Ilustración 57 Dimensión de largo de los coches y ancho del tren

Fuente: Proyecto de la PLMB por Metro-Bog y la FDN

5.7.1.7. Galibo del tren

Los gálidos están establecidos para una velocidad de 80 Km/h en alineamiento recto. Para el gálibo dinámico se consideran los parámetros mencionados a continuación:

- Ancho de vía normal de 1.435 mm
- Ancho de vía máximo (incluye el desgaste del riel) de 1.455 mm
- Radio mínimo vertical en la vía y en el patio de 1.000 m
- Distancia entre centros de bogíes de 12.600 mm
- Velocidades máximas del tren en operación normal de trabajo de 80 km/h En el patio de garaje/cochera son de 25 km/h

Parámetros geométricos y de suspensión del bogí:

- Distancia de 2.100 mm entre ejes del bogí
- Desplazamientos verticales de la suspensión primaria hacia arriba de 25 mm y hacia abajo de 35 mm
- Desplazamientos verticales de la suspensión secundaria hacia arriba de 30 mm y hacia abajo de 55 mm
- Desplazamientos laterales de la suspensión secundaria de ± 35 mm
- Desplazamiento lateral de la suspensión primaria (posible desplazamiento excéntrico entre los ejes y la armazón del bogí) de ± 8 mm
- Desgaste diametral máximo de la rueda de 70 mm

Las condiciones analizadas son para los gálbos estática y dinámica, para recta y curvas. Para el Gálbo Dinámico del Tren en Curva se toma en cuenta:

- Radio mínimo: 200m
- Velocidad: 80km/h
- Peralte: 140 mm

Adicionalmente los coches contarán con sistema CCTV y Sonorización.

5.7.2. Material Rodante propuesto para el Sistema Regiotram Occidente

Material rodante tipo tranvía a 1500 vcc

En 2019, se adjudicó un contrato para tren ligero tipo tranvía a 1500 Vcc en Tel-Aviv - Israel, el cual conto con la participaron los siguientes constructores:

- CAF
- CRRC
- ALSTOM
- SIEMENS
- BOMBARDIER

CAF esta también desarrollando un tranvía 1500 Vcc para un proyecto en Maryland.

En el pasado BOMBARDIER ha también desarrollado material rodante a 1500 Vcc.

El tranvía de CRRC en Tel-Aviv está previsto para ir a 50 km/h en zona urbana y a 70 km/h en partes subterráneas.

La información financiera no está disponible, pues hace parte de un contrato integral. De hecho, se puede constatar que varios proveedores internacionales de Material Rodante han participado con un suministro de energía de 1500 Vcc y que, si el suministro de energía de

tracción a 1500 Vcc para tranvías no es lo más común, no represente una complicación para los proveedores de material rodante.

5.7.3. Análisis de la Información para el Material Rodante

El documento aprobado como Anexo 06 Material Rodante, Estructuración técnica para el Sistema Regiotram Occidente, solo se basa en estudio de costos, no se mencionan características técnicas al detalle. Solo es posible observar que su búsqueda es basada en un Material Rodante del tipo tren ligero - tranvía, se menciona como referencia el Material Rodante utilizado para la Línea Verde y Línea Púrpura del Metro de Tel-Aviv en Israel.

Se indica que la longitud del Material Rodante compuesto por dos coches de tres secciones cada uno y una longitud por coche de 52.25 mt será de un total de 105m y la alimentación es de 1500Vcc.

Se resume que, el documento carece de definiciones técnicas básicas para tomar datos clave que ayuden en la selección de alternativas del Material Rodante para el Sistema del Corredor Férreo del Sur.

Mientras que los estudios existentes para el Material Rodante de la PLMB definen un tren para un Sistema de tipo Metro Pesado alimentado por Tercer Riel a 750Vcc, con posibilidades de modificación en su conformación según los tipos de vagones o coches que lo integran. Se mencionan composiciones posibles de 6 coches y otras de 7 coches, con una longitud máxima de 160m para el tren de 7 coches.

Se prevé equipamiento CBTC, los trenes no necesitarán conductor por su nivel de automatización, sin embargo, se establece que para posibles fallas del CBTC existirá personal capacitado para la conducción del tren en modo manual.

El Tren se encontrará equipado con sistema CCTV y Sonorización. No se mencionan sistemas de ventilación o aire acondicionado, tampoco las características técnicas del pupitre de mando, potencia de los motores y características de equipamiento bajo tren.

No se desarrollan especificaciones y características técnicas que recojan información que permita solicitar ofertas a los fabricantes o presentar las soluciones alternativas más favorables.

Por lo antes expuesto, será necesario realizar una nueva definición de las características y dimensionamiento del Material Rodante en función del resultado del estudio de demanda y del modelo operacional asociado.

5.8. PASOS A NIVEL

5.8.1. Normativa

- EN 50128: Railway applications. Software for railway control and protection systems (Aplicaciones ferroviarias. Software para sistemas de protección y control de ferrocarriles).
- EN 50129: Railway applications. Safety related electronic systems for signalling (Aplicaciones ferroviarias. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización).
- EN 50159-1: Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Part. 1: Safety-related communication in closed transmission systems. (Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento)
- EN 50238: Railway applications. Compatibility between Rolling Stock and Train Detection Systems. (Aplicaciones ferroviarias. Compatibilidad entre material móvil y los sistemas de detección de trenes).

La aplicación de la normativa para Sistemas de Pasos A Nivel (de aplicarse en este proyecto) tendrá mucho en común con los Sistemas de Señalización y Control de Trenes, debido a que en la actualidad los Pasos A Nivel forman parte de un objeto o conjunto de objetos controlados por el enclavamiento y el Sistema de Supervisión Automática de Trenes (ATS).

5.8.2. Composición Técnica del Sistema de Pasos a Nivel e Intersecciones del Sistema Regiotram Occidente

A partir de la propuesta del estudio del originador se ejecutó un análisis a las intersecciones a nivel y desnivel a lo largo del corredor férreo destinado para el REGIOTRAM DE OCIDENTE, donde se evaluó la viabilidad de los cruces y se mencionan las premisas contempladas para el sistema férreo, según mesa de trabajo efectuada el 11 de enero de 2019, la cual conto con participación de la Empresa Férrea Regional (EFR), la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el ESTRUCTURADOR e INTERVENTORÍA del proyecto REGIOTRAM DE OCIDENTE, donde la ANI hace referencia a los criterios necesarios para elevar el corredor férreo con respecto a las calzadas existentes, los cuales están dispuestos de forma exclusiva para las troncales de Transmilenio con el fin de no perturbar el tránsito de las grandes troncales de la ciudad de Bogotá, caso diferente, para las demás intersecciones, donde se conserva la prelación del sistema férreo sobre cualquier otro medio de transporte.

- En general, se contemplan dos tipos de soluciones: Cruces a desnivel (Interferencia con sistema BRT – Transmilenio)

- Cruces a nivel
 - Vehicular (51)
 - Peatonal (4)
 - Cruces peatonales en estaciones
 - Cruces con Troncales de Transmilenio

Los corredores viales interceptados por el RegioTram de Occidente en la ciudad de Bogotá dispuestos para las troncales del Sistema Transmilenio son:

- PK 1+880 Av. NQS
- PK 2+660 Av. de las Américas
- PK 5+680 Av. Congreso Eucarístico (CR 68)
- PK 7+330 Av. Boyacá
- PK 8+880 Av. Ciudad de Cali (Se eleva la calzada vehicular, según proyecto IDU)
- PK 9+600 Av. Longitudinal de Occidente (Se eleva la calzada vehicular, según proyecto IDU)

PK 1+880 Av. NQS

En la actualidad, el sistema BRT se encuentra en operación por la Av. NQS, con un volumen elevado de buses articulados. En consecuencia, el REGIOTRAM DE OCCIDENTE se eleva, evitando interferir con la operación de la Troncal de Transmilenio.

5.8.3. Análisis de la Información respecto a los Pasos A Nivel

De los documentos seleccionados no existe a profundidad un apartado exclusivo para pasos a nivel en cuanto a la tecnología a utilizar. El Sistema de la PLMB no requerirá el uso de este componente y el sistema Regiotram Occidente se limita a expresar que será un elemento controlado por el sistema de Señalización y adicionalmente solo se mencionan los puntos kilométricos de ubicación de intersecciones y pasos a nivel, por lo que no se tomarán como documentación favorable para la selección de alternativas.

En el caso en que existan pasos a nivel, con vías vehiculares reguladas, el consultor realizará el prediseño de los pasos a nivel, integrados al sistema de señalización y control de trenes, a través de los enclavamientos del sistema, igualmente integrara la señalización de los pasos a nivel y su operación (diseño del equipamiento (hardware) y software), con la red semafórica que controla el tráfico vehicular en las intersecciones del área de influencia de los pasos a nivel, que subsistan con el Corredor Férreo a implementar, de acuerdo a los resultados de los estudios de demanda y tránsito, esto se hará definiendo los requerimientos de diseño de la interface apropiada, que permita tal integración dando prioridad al sistema ferroviario.

En ese sentido el sistema de señalización y control de trenes estará totalmente coordinado e integrado con la red semafórica existente en el área de influencia del corredor y proyectada, aplicable para todas las ciudades por donde transitará el sistema férreo.

La gestión de las intersecciones del Corredor Férreo del Sur con el tráfico vehicular, si se presentase el caso, será uno de los aspectos críticos del proyecto, para lo cual se tratará de conseguir en el diseño del sistema de señalización y control de trenes una velocidad comercial elevada y una atractividad importante del Corredor y, además, se tratará de minimizar los impactos de la introducción sobre el tráfico vial. El sistema de señalización y control de trenes dispondrá como premisa fundamental, el contar con dispositivos o mecanismos de priorización semafórica e incluirá la definición de las interfaces que se requieran implementar con el sistema semafórico de las zonas que atraviese.

6. EMPRESAS CONSULTADAS

En este capítulo, se listarán los entes que el Consultor ha identificado como Partes Interesadas y donde se han realizado consultas del componente ferroviario.

Número de Oficio	Enviado a	Información Solicitada
CAC-P1674-054	ETB	<ul style="list-style-type: none">- Valores de frecuencias en uso en la ciudad.- Separación o asignación de frecuencias o ancho de banda disponible, que le otorgue el ministerio de Comunicaciones a el administrador ferroviario, el cual deberá contar con las frecuencias para cualquiera de los sistemas propuestos.
CAC-P1674-055	Enel CODENSA	<ul style="list-style-type: none">- Niveles de tensión disponibles de Alta y Media tensión.
CAC-P1674-057	Grupo de Energía de Bogotá - GEB	<ul style="list-style-type: none">- Ubicación de las subestaciones de Alta tensión y Media tensión principales que darán suministro eléctrico al Corredor Férreo del Sur.- Diagrama de interconexión de las redes Eléctricas y de las subestaciones que se encuentran a lo largo del Corredor Ferroviario.- Capacidad sobrante y/o disponibilidad de potencia (MVA) para absorber nuevas cargas de cada una de las subestaciones de Alta y Media tensión a lo largo del Corredor.- Capacidad de Corto Circuito de cada una de las subestaciones de Alta y Media tensión disponibles a lo largo del Corredor Ferroviario

Además de esto también se han consultado información de las siguientes entidades:

- ANI
- INVIAS.
- Empresa Férrea Regional
- Empresa de Energía de Cundinamarca;
- Instituto de Infraestructura y Concesionales de Cundinamarca - ICCU.
- Empresa Metro Bogotá;
- Transmilenio S.A.

7. VISITA DE CAMPO

En la visita de campo se pudieron apreciar los siguientes puntos importantes:

- La vía existente es una vía a nivel, con ancho de trocha de 1 yarda (0,9144m), con alto nivel de deterioro. Es posible observar vías al descubierto en pequeños tramos.
- Se descarta la reutilización de vías existentes por su alto nivel de deterioro, incluso la plataforma de la vía también se descarta.
- El trazado de vía existente no coincide totalmente con el trazado o los trazados de las alternativas a proponer.
- No se considera la vía a nivel como una propuesta adecuada por las siguientes razones observadas en la visita:
 - Exceso de cruces vehiculares: Es notable que la ciudad de Bogotá se encuentra saturada de vehículos, actualmente los organismos de control deben crear planes para minimizar la cantidad de vehículos automotores en circulación, como el denominado “pico y placa”. Una propuesta a nivel para el corredor ayudaría en la saturación de la circulación vehicular.
 - En el recorrido se observó que el ancho disponible para la construcción de una plataforma con vía doble es insuficiente en un porcentaje alto del trazado.
 - Se observaron diversas áreas con puentes con altura inadecuada para permitir el paso de un sistema férreo. Se dificulta el uso de posible alimentación de energía de tracción mediante un hilo aéreo de contacto (Catenarias)
 - Se observan instalaciones de torres de energía de alta y media tensión, lo que puede generar interferencia con la construcción del corredor férreo.
 - Sería necesario la deforestación de áreas verdes que benefician a la comunidad local.
- Se presenta el fin de vía en la localidad de Soacha cercano al embalse del Muña, en este punto es posible proponer una zona de maniobras como nodo de terminación, sin embargo, no existe la posibilidad de continuación de vías, debido a la ubicación del embalse inmediatamente posterior al terreno visitado.

- A pocos kilómetros de distancia del embalse del Muña es posible encontrar la Subestación IMGESA, subestación que puede ser objeto de estudio para una posible alternativa de alimentación al corredor férreo del sur.
- La parada 17 cercana a Campos de Cristo, presenta condiciones mas ideales para una posible Estación Terminal.
- Entre las paradas 16 y 17 ubicadas en la localidad de Soacha se observan espacios suficientes para posible construcción de los Patios y Talleres del Sistema.
- En la parada 3 Troncal Calle 13, se observa ubicación cercana de la Subestación Gorgonzola CODENSA. Subestación que puede ser objeto de estudio para una posible alimentación de energía al corredor férreo del sur.
- En la parada 8 de la Avenida Boyacá, se observan gran cantidad de tiendas y talleres que ocupan parte del área reservada para el Corredor Férreo del Sur.
- En la Carrera 30 – Calle 21, se propone el punto de inicio, punto donde es posible la creación de diferentes alternativas de empalme con la futura PLMB y a su vez empalme con el Sistema Regiotram de Occidente. En este punto se observa que se han conservado muy bien las señales de advertencia de pasos a nivel.

En Conclusión, referente a la Visita de Campo

- No se puede aprovechar la plataforma de la vía existente
- No existen instalaciones ni estructuras para Centros de Control
- No existen instalaciones de Electrificación, como Subestaciones Eléctricas
- No existen Sistema de Alumbrado propio del Corredor
- No existen espacios destinados para Patios y Talleres
- No existen instalaciones de Señalización y Telecomunicaciones
- No existen cerramientos de vía
- No existen Instalaciones de Control de Pasos a Nivel
- No existen estructuras para Estaciones
- Todo el proyecto debe manejarse desde el punto cero en avances, solo se aprovecharán áreas donde se respeta el espacio destinado para el corredor férreo por donde pasa el trazado antiguo.
- Es posible descartar una construcción a nivel del corredor, pero inicialmente se deben evaluar posibilidades de cruces a desnivel que minimice la interrupción del tráfico automotor.
- La instalación de toda la infraestructura ferroviaria debe proponerse sin presentar ningún grado de avance en consideración con lo existente.
- Se observan localidades densamente pobladas a lo largo del trazado.
- Se observa a partir de la inspección visual, a los lados de la vía férrea actual, grandes áreas de rellenos en grandes longitudes, que requerirán excavaciones con necesidades de mejoramiento de subrasantes, aspectos que deben evaluarse. Esto influye en el prediseño de la infraestructura. En etapas de factibilidad y/o diseño se propone que se realice una exploración de subsuelo complementaria mediante apiques y extracción de muestras, con el objeto de reducir la incertidumbre del proyecto.

8. CONCLUSIONES

- Se realiza una recopilación de información basada en tres proyectos, dos de ellos pertenecientes a la misma Región del Proyecto del Corredor férreo del Sur (Cundinamarca) y uno del Municipio de Cali.
- Se lista la normativa aplicable a tener presente en la siguiente Etapa de profundización de la alternativa seleccionada, a modo de cita y referencia, sin limitarse a ellas.
- Fue necesario acudir a la información secundaria, mediante la investigación y análisis de datos de otros proyectos debido a que no existen estudios previos para el Corredor Férreo del Sur.
- En visita técnica se evidencia el deterioro de la vía y plataforma existente, por lo que no es una opción la reutilización de cualquiera de sus elementos.
- El Análisis de la información es basado en la correlación de sistemas, con el objetivo de absorber estrategias, elementos y/o tecnologías de la actualidad, que faciliten incluso la integración con estos sistemas férreos y utilizar métodos para la mejora o perfeccionamiento de los datos obtenidos.
- Se mencionan las empresas de interés de la región para realizar las debidas consultas de datos que se requieren para el desarrollo del proyecto.