



**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.”**

**CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1860 DE 2021**

**ETAPA 4: PROFUNDIZACIÓN SOBRE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA  
INGENIERÍA FERROVIARIA**

**VERSION 4**

**BOGOTÁ, 2023 – AGOSTO 22**

## CONTROL DE VERSIONES

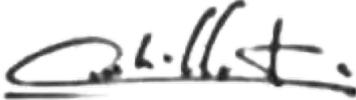
Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 0	24/03/2023	Elaboración Inicial	220
Versión 1	12/04/2023	Atención observaciones interventoría	231
Versión 2	19/04/2023	Atención observaciones interventoría	235
Versión 3	07/06/2023	Atención observaciones de la EMB	240
Versión 4	22/08/2023	Atención observaciones de la EMB	241



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

**EMPRESA CONTRATISTA**

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

**EMPRESA INTERVENTORA**

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
	<p data-bbox="624 689 1002 750">Diotima Preciado G .</p> 	
		
		
		
Hernando Rodríguez P. Especialista en Ingeniería Ferroviaria	<p data-bbox="603 1093 1013 1198">ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.</p> <p data-bbox="699 1205 895 1240">MOVILIDAD</p> <p data-bbox="564 1249 1023 1285">Instituto de Desarrollo Urbano</p>	<p data-bbox="1082 1294 1374 1361">Ing. Abraham Palacio Director de Interventoría</p>
Fernando Rey Valderrama Experto en Superestructura Ferroviaria	<p data-bbox="639 1294 986 1361">Ing. Diotima Preciado Coordinador de Interventoría</p>	
Germán Forero Cortés Experto en Operaciones Ferroviarias		
William Medina Vera Experto en electrificación y señalización		

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	<b>11</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>13</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>15</b>
<b>5 PREDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE VÍA</b> .....	<b>17</b>
5.1 Excavación con tuneladoras (TBM): .....	18
5.1.1 Ventajas del método de excavación con tuneladora (TBM): .....	19
5.1.2 Desventajas del método de excavación con tuneladora (TBM):.....	19
5.2 Método de excavación y soporte en mina (NATM).....	21
5.2.1 Ventajas del NATM:.....	22
5.2.2 Desventajas del NATM: .....	22
5.3 Método de Excavación por voladura (SEM).....	23
5.3.1 Ventajas del método de excavación por voladura (SEM):.....	24
5.3.2 Desventajas del método de excavación por voladura (SEM): .....	24
5.4 Selección del Método constructivo de los túneles .....	25
5.5 SELECCIÓN DEL TIPO DE TÚNEL .....	26
5.6 Portal de ingreso al subterráneo desde el Patio Taller.....	31
5.7 PLATAFORMA DE VÍA DONDE REPOSA LA SUPERESTRUCTURA.....	32
<b>6 PREDISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA</b> .....	<b>33</b>
6.1 PREDISEÑO De LOS ELEMENTOS de LA SUPERESTRUCTURA.....	33
6.1.1 ALCANCE DEL SISTEMA .....	33
6.1.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE VÍA OBJETO DE ESTUDIO.....	34
6.1.3 TIPOLOGÍAS DE ANÁLISIS .....	34
6.1.4 VÍA EN PLACA .....	35
6.1.5 Tipos DE VÍA EN PLACA.....	38
6.1.6 SISTEMAS DE VÍA EN PLACA EXISTENTES EN EL MERCADO .....	48
6.1.7 MATRIZ MULTICRITERIO.....	52
6.1.8 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA A NIVEL DE PREDISEÑO.....	57
6.1.9 PREDISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA EN PATIO TALLER .....	69

6.2	PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS....	70
6.2.1	Sistema de Supervisión y Control ubicado en el Centro de Control Operacional el principal y de Respaldo.....	71
6.2.2	Sistemas de alimentación de Energía Eléctrica (SER, SET y CTE) .....	77
6.2.3	Sistema de Señalización y Control .....	87
6.2.4	Sistema de Puertas de Andén o Plataforma .....	101
6.2.5	Sistema de Telecomunicaciones Y Radiocomunicaciones.....	104
6.2.6	Sistema de Peaje / Control de Acceso / RECAUDO .....	132
a)	Máquinas de Barrera .....	137
b)	Equipos de Expedición y Recarga de Tarjetas.....	138
6.2.7	Equipos de Patio Taller.....	139
6.2.8	PREDISEÑO DE LAS OPERACIONES FERROVIARIAS DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR.....	144
6.3	PREDISEÑO DE LOS SISTEMAS NO FERROVIARIOS.....	157
6.3.1	Alcance y Objetivos .....	157
6.3.2	ASCENSORES Y ESCALERAS MECÁNICAS .....	158
6.3.3	ALARMAS CONTRA INCENDIOS.....	161
6.3.4	INSTALACIONES ELECTRICAS.....	165
6.3.5	VENTILACIÓN DE ESTACIONES.....	170
6.3.6	VENTILACIÓN FORZADA EN TÚNELES.....	174
6.3.7	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS.....	180
<b>7</b>	<b>PREDISEÑO DE INSTALACIONES FERROVIARIAS .....</b>	<b>185</b>
7.1	TALLERES DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE EQUIPOS .....	186
7.1.1	Vías de mantenimiento menor .....	186
7.1.2	Vías de mantenimiento mayor .....	187
7.1.3	Vía de pruebas .....	187
7.1.4	Vía de lavado intensivo.....	188
7.1.5	Vía de soplado.....	191
7.1.6	Vía de pintura .....	191
7.1.7	Vía de reperfilado de ruedas y torno de foso .....	191
7.1.8	Vía de viraje de sentido de marchas de los trenes.....	193
7.1.9	Tornamesas para bogies .....	193
7.1.10	Maquina lavadora de trenes con sistema recuperación y tratamiento de agua	194
7.1.11	Torno para mecanizado de ruedas .....	194
7.1.12	Torno para ejes montados .....	195

7.1.13	Cabina de lavado de bogies .....	196
7.1.14	Cabina de soplado.....	197
7.1.15	Talleres para mantenimiento de equipos: motores, componentes neumáticos, pantógrafos.....	197
7.1.16	Puente grúas .....	198
7.1.17	Compresor de aire .....	199
7.1.18	Columnas de levante de trenes (Fijas y móviles).....	199
7.1.19	Columnas de levante para cambio de motores de tracción.....	199
7.1.20	Equipo para pruebas de motores de tracción.....	201
7.1.21	Mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies.....	202
7.2	NODO DE TERMINACIÓN .....	203
7.2.1	Estación 1, estación terminal (Santa Fé): .....	203
7.2.2	Estación 18, estación terminal (Soacha Centro): .....	205
7.2.3	Selección de la ubicación adecuada.....	205
7.2.4	Transición gradual en la inclinación de los túneles .....	206
7.2.5	Limitaciones del Corredor.....	208
7.3	ESTACIONES .....	209
7.3.1	Áreas Técnicas de las Estaciones.....	212
<b>8</b>	<b>PROPUESTA DE TIPOLOGÍA Y DIMENSIONAMIENTO DEL MATERIAL RODANTE.....</b>	<b>214</b>
8.1	Características del Material Rodante.....	215
8.1.1	Dimensiones del tren:.....	215
8.1.2	Capacidad y distribución de pasajeros:.....	215
8.1.3	Velocidad y rendimiento: .....	216
8.1.4	Sistema de alimentación eléctrica:.....	216
8.1.5	Sistema de propulsión: .....	216
8.1.6	Frenado:.....	217
8.1.7	Suspensión y bogies:.....	219
8.1.8	Sistema de puertas:.....	220
8.1.9	Climatización: .....	221
8.1.10	Iluminación: .....	223
8.1.11	Sistema de comunicación e información al pasajero:.....	225
8.1.12	Seguridad y vigilancia:.....	225
8.1.13	Sistema de alimentación eléctrica a bordo:.....	225
8.1.14	Sistema de señalización y seguridad:.....	225
8.1.15	Interiores y asientos:.....	225

8.1.16	Exteriores y carrocería:.....	225
8.1.17	Acople y desacople de trenes:.....	226
8.1.18	Sistemas de evacuación y emergencia:.....	226
8.1.19	Accesibilidad:.....	226
8.1.20	Sistema de gestión de mantenimiento: .....	226
8.1.21	Reducción de ruido y vibraciones: .....	226
<b>9</b>	<b>ANÁLISIS OPERACIÓN DEL PROYECTO EN UN SOLO CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES INTEGRADO CON EL DE LAS DEMÁS LÍNEAS FÉRREAS DE LA CIUDAD.....</b>	<b>226</b>
9.1	Retos o Inconvenientes .....	230
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO EN FUTURAS ETAPAS .....</b>	<b>230</b>
<b>11</b>	<b>RECOMENDACIONES PARA LA PARTICIPACIÓN DE UN EVALUADOR INDEPENDIENTE DE LA SEGURIDAD (EIS/ISA) .....</b>	<b>236</b>
11.1	Etapas de evaluación del ente Evaluador Independiente de la Seguridad ..	237
11.2	Definición del Alcance y responsabilidades del EIS/ISA .....	238
11.3	Estimación de Costos asociados al EIS/ISA .....	239
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>240</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Trazado Corredor Férreo del Sur.....	17
Figura 2	Excavación con Tuneladora TBM .....	21
Figura 3	Método de Excavación y soporte NATM .....	23
Figura 4	Método de Excavación por voladura (SEM) .....	25
Figura 5	Normativa Alemana 853.1001.....	26
Figura 6	Beneficios de la selección.....	27
Figura 7	Esquema de trazado con túnel bítubo.....	31
Figura 8	Excavación "Cut and Cover" .....	32
Figura 9	Superestructura de vía en placa. ....	35
Figura 10	Vía en Placa con Bloques embebidos.....	38
Figura 11	Vía en Placa con Traviesas Embebidas.....	40
Figura 12	Vía en Placa con Sujeción Directa. ....	41
Figura 13	Vía en Placa con Riel Embebido.....	43
Figura 14	Vía en Placa con Riel embebido con Elastómero tipo resina. ....	44
Figura 15	Sistema EDILON con carril embebido.....	48
Figura 16	Modelo Rheda 2000.....	50
Figura 17	Modelo Züblin. ....	51
Figura 18	Modelo Stedef.....	52
Figura 19	Perfil del riel Vignole 54E1 .....	61

Figura 20 Tipo de Sujeción seleccionado.....	62
Figura 21 Referencia gráfica de un pozo de drenaje.....	65
Figura 22 Zona de cambiavías en representación del área de cambio o punta de aguja .....	67
Figura 23 Zona de cambiavías, en representación del área del corazón del cambio ..	67
Figura 24 Dispositivos de Rodillos Schwihag .....	68
Figura 25 Dispositivo de Rodillos Schwihag.....	69
Figura 26 Diagrama de arquitectura del SGT.....	75
Figura 27 Puestos de trabajo CCO. ....	77
Figura 28 Distribución de la Energía .....	81
Figura 29 Captura de Pantalla del Sw RAILTRAFFIC .....	85
Figura 30 Resultados de Simulación.....	86
Figura 31 Elementos Fundamentales CBTC.....	90
Figura 32 Componentes Sistema Embarcado CBTC.....	92
Figura 33 Niveles SIL.....	96
Figura 34 Representación de grados de automatización. ....	97
Figura 35 Arquitectura. ....	101
Figura 36 Referencia puertas de andén.....	104
Figura 37 Arquitectura TETRA.....	108
Figura 38 Ejemplo de modelo de gestión de acceso de los usuarios (ilustrativo).....	110
Figura 39 Niveles del Sistema SDP.....	117
Figura 40 Ejemplo de pantallas instaladas en los trenes.....	117
Figura 41 Imagen ejemplo totem publicitario.....	118
Figura 42 Ejemplo de esquemas de interconexión con otros subsistemas.....	119
Figura 43 Esquema de arquitectura del Sistema de Control de Accesos.....	126
Figura 44 Arquitectura de un Sistema de Recaudo.....	136
Figura 45 Barrera Tarifaria.....	137
Figura 46 Máquina de Barrera de Torniquete.....	138
Figura 47 Puente Grúa .....	140
Figura 48 Compresor de Aire.....	141
Figura 49 Columna de levante de trenes .....	142
Figura 50 Banco de Pruebas de Motores de Tracción .....	143
Figura 51 Equipo de soldadura eléctrica.....	144
Figura 52 Datos del Material Rodante.....	147
Figura 53 Pantallazo del Software RAILTRAFFIC con resultados de parámetros operacionales .....	148
Figura 53 Zoom de resultados de la Figura 50.....	148
Figura 55 Simulador RailTraffic.....	149
Figura 56 Malla Horaria Alternativa Seleccionada con intervalo de 2,5 minutos, tiempo de análisis una (1) Hora.....	149
Figura 57 Perfiles de velocidad y aceleración .....	153
Figura 58 Diagrama Esquemático de vías del Corredor Férreo del Sur .....	155
Figura 59 Vías de Mantenimiento de Trenes .....	186
Figura 60 Grafica de velocidad de la vía de pruebas .....	188
Figura 61 Máquina de lavado de Trenes.....	190
Figura 62 Vía de reperfilado de ruedas y torno de foso.....	193
Figura 63 Torno para mecanizado de ruedas de tren.....	195
Figura 64 Cabina de lavado de Bogies .....	197

Figura 65 Columna de levante de motores .....	201
Figura 66 Cruzamiento Doble o Bretelle .....	204
Figura 67 Cruzamiento de doble diagonal o Bretelle.....	205
Figura 68 Diagrama Esquemático de la disposición de vías del Corredor Férreo del Sur .....	207
Figura 69 2 Demanda por Estación.....	210

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz Multicriterio.....	56
Tabla 2 Resultados del componente de Operaciones Ferroviarias .....	86
Tabla 3 Resumen de definición de los grados de automatización.....	99
Tabla 4 Parámetros Operacionales.....	150
<b>Tabla 5 Datos de tiempos y velocidades de recorrido</b> .....	153
Tabla 6 Intervalo previsto en días de semana, de lunes a viernes .....	156
Tabla 7 Intervalo previsto en días sábados.....	156
Tabla 8 Intervalo previsto en domingos y feriados .....	157
Tabla 9 Selección de Tipología de Estación .....	211

ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

MPLS: (Multiprotocol Label Switching), es una técnica de enrutamiento en redes de telecomunicaciones.

CCO: Centro de Control de Operaciones.

CCO-R: Centro de Control de Operaciones de Respaldo.

IP: Internet Protocol – Protocolo de Internet.

NTP: Network Time Protocol – Protocolo de tiempo de red.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

PSTN: Public telephone system network - Red de telefonía pública.

SDP: Sistema de Difusión de Publicidad.

RAID: Redundant Array of Independent Disks – Ordenamiento redundante de discos independientes.

CCTV: Circuito Cerrado de Televisión

ATS: Automatic Train Supervision / Supervisión Automática de Trenes

ATO: Automatic Train Operation / Operación Automática de Trenes

ATP: Automatic Train Protection / Protección Automática de Trenes

CBTC: Control Based Train Communications / Control del Tren Basado en Comunicaciones

SIL: Security Integrated Level / Nivel de Integración de Seguridad

GoA: Grado de Automatización en la Conducción de Trenes

CCO: Centro de Control de Operaciones

SSO: Inicio de sesión único

LED: Diodo emisor de Luz

KVM: Teclado, video y ratón.

CTE: Centro de Transformación de Energía

SAE: Sistema de Alimentación de Energía

## 1 INTRODUCCIÓN

El proyecto de “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” tiene como objetivo principal analizar y desarrollar propuestas de prediseño para un sistema de transporte de pasajeros de tipo Metro pesado, a nivel subterráneo que conectará las ciudades de Bogotá y Soacha. Este corredor férreo busca mejorar la movilidad en la Bogotá-Región, proporcionando una solución eficiente y sostenible para el transporte público masivo de pasajeros. El sistema contará con 18 estaciones, todas subterráneas, un Centro de Control de Operaciones (CCO) y un Patio Taller, permitiendo la circulación de hasta 29 trenes simultáneamente en el horario más exigente, hora pico, con el intervalo más pequeño de 2,5 minutos, adicionalmente se requerirá una cantidad de trenes de reserva que representa un 15% de la cantidad máxima permitida en circulación, es decir, el Corredor Férreo del Sur y sus instalaciones ferroviarias deben estar dispuestas para la capacidad de 34 trenes.

El dimensionamiento del Patio Taller está dispuesto para albergar la cantidad máxima de trenes (34) desde el inicio de la operación del Corredor Férreo del Sur y este tiene la capacidad para incrementar hasta 6 vías adicionales de parqueo debido al espacio con que cuenta el Patio Taller. La cantidad máxima de 29 trenes en circulación responde a la satisfacción de la demanda de pasajeros para el año 2050.

Este documento abordará diferentes aspectos del proyecto, incluyendo la descripción funcional de los sistemas objeto de estudio, tales como:

- **Infraestructura de la vía:** Se analizarán las condiciones geológicas y geotécnicas para el diseño de túneles y estructuras subterráneas que conformarán la infraestructura de la vía.
- **Superestructura de vía:** Se estudiarán los componentes de la vía, como rieles, durmientes, vía en placa y otros elementos necesarios para garantizar la estabilidad y seguridad de la circulación de los trenes.
- **Sistema de Alimentación de energía:** Se evaluarán las opciones para suministrar energía eléctrica al sistema, considerando tensiones de alimentación de tracción mediante catenaria rígida con una tensión requerida por el Material Rodante de 1500 Vcc para la propulsión y sistemas auxiliares de los trenes.
- **Propuesta de integración de los sistemas ferroviarios:** Se describirá la integración interna de los sistemas y subsistemas del Corredor Férreo del Sur, asegurando la eficiencia y la interconexión entre los diferentes componentes que conforman el sistema de transporte, como la infraestructura y superestructura de vía, el material rodante, las estaciones, el sistema de alimentación de energía, la señalización, las telecomunicaciones y el CCO. Señalización: Se propondrán soluciones de señalización ferroviaria para garantizar una circulación segura y eficiente de los trenes.
- **Telecomunicaciones:** Se describirán los sistemas de comunicación necesarios para el correcto funcionamiento del corredor férreo, tanto para la operación como para la atención a los usuarios.
- **CCO:** Se abordará el diseño y funcionamiento del Centro de Control de Operaciones, que permitirá supervisar y controlar el sistema de forma segura y eficiente, finalmente se realiza una propuesta de integración de un solo CCO integrada con otras líneas férreas y sistemas de transporte de la Bogotá-Región.

- Estaciones: Se analizará la ubicación y el prediseño de las funcionalidades de las 18 estaciones que conformarán el Corredor Férreo del Sur. El prediseño arquitectónico de las estaciones se aborda en el componente de Arquitectura.
- Sistema de Recaudo: Se examinará el sistema de recaudo y la forma en que los usuarios pagarán y accederán al servicio de transporte.
- Sistemas No Ferroviarios: Se evaluarán los sistemas que no están directamente relacionados con la operación de los trenes, como iluminación, climatización, ascensores, escaleras mecánicas y alarmas contra incendios, que deben estar instalados en cada una de las estaciones del Corredor Férreo del Sur.
- Puertas de Andén: Se estudiará la implementación de puertas de andén en las estaciones para mejorar la seguridad de los usuarios y la eficiencia del sistema.
- Tipología del Material Rodante: Se abordarán las características y especificaciones técnicas del material rodante propuesto para el Corredor Férreo del Sur, considerando las características del Material Rodante de la Línea 2 del Metro de Bogotá con el fin de tener una propuesta de interoperabilidad entre ambos sistemas.
- Sistema de Control de Accesos: Se examinarán las soluciones para controlar el acceso del personal interno que labora el Corredor Férreo del Sur, en las diferentes áreas como mantenimiento, operación y el área administrativa, para tener un control seguro de las instalaciones que conforman el sistema férreo.
- Nodo de terminación: Se analizará el diseño y ubicación del nodo de terminación, que conectará el Corredor Férreo del Sur con otros sistemas de transporte en la ciudad.
- Equipos de Patio Taller: Se estudiarán los equipos necesarios para el mantenimiento y reparación del material rodante en el Patio Taller.
- Operaciones Ferroviarias: Se abordarán aspectos relacionados con la planificación y ejecución de las operaciones ferroviarias del Corredor Férreo del Sur.

Además de estos aspectos, el proyecto también considerará la integración e interoperabilidad con otros proyectos de transporte en la ciudad, como la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), la Línea 2 del Metro de Bogotá (L2MB) y el Regiotram Occidente. Por último, se dejará una recomendación para el proyecto en etapas futuras, considerando las lecciones aprendidas y las oportunidades de mejora identificadas durante el desarrollo del estudio de prefactibilidad del Corredor Férreo del Sur.

## **2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

A finales del siglo XIX y en las primeras décadas del siglo XX, en el territorio de Colombia se consolidó una red ferroviaria importante que permitió conectar las distintas regiones transportando pasajeros, alimentos y carga en general tanto de exportación como de importación. Dado el carácter central y de ser la capital administrativa, con un relevante desarrollo industrial y comercial, Bogotá se convirtió en un epicentro, y lugar de origen y destino de rutas de transporte ferroviario.

Como parte de la red ferroviaria en desarrollo, se construyó el ferrocarril del sur Bogotá Soacha como parte del proyecto Bogotá – Buenaventura. Actualmente este sistema de infraestructura ferroviaria se presenta como una oportunidad de generar ejes con potencial de conectividad regional entre el distrito y los municipios aledaños, tanto para el transporte público de pasajeros como para el transporte de carga, consolidando otra alternativa de movilidad sostenible mediante la implementación de trenes de cercanías

como sistemas de transporte público masivo de pasajeros con tecnologías de energía sostenible.

El proyecto del Corredor Férreo del Sur tiene como principal antecedente la infraestructura férrea existente que es administrada por la nación, a través de la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI y el Instituto Nacional de Vías – INVIAS, y por el departamento mediante la Empresa Férrea Regional – EFR.

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”; por otro lado de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial 555 de 2021 se plantea la conexión de los grandes servicios metropolitanos con la red estructurante de transporte férreo (Instituto de Desarrollo Urbano, 2021).

En ejecución de estos planteamientos del Plan Distrital, 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, que 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, y el contrato de consultoría No. 1860 de 2021 en el cual se vienen realizando los diferentes análisis del proyecto desde todos los componentes de una estructuración integral.

Teniendo en cuenta que el crecimiento y desarrollo urbano de Bogotá y los municipios vecinos presentan un reto de movilidad y transporte para la región Bogotá-Cundinamarca, en necesario contar con la infraestructura idónea de transporte masivo que permita atender las necesidades de viajes de la ciudad-región. El Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá presenta una oportunidad que recae sobre un activo espacial invaluable, como son los antiguos corredores férreos, los cuales a través del Plan Distrital de Desarrollo se erigen como la columna vertebral del sistema de movilidad de la ciudad, para el caso particular de Bogotá-Soacha el corredor férreo del sur, se presenta como una oportunidad de generar ejes con potencial de conectividad regional, consolidando una alternativa de movilidad sostenible (Instituto de Desarrollo Urbano, 2021). Es así, como los resultados de los recientes estudios realizados y por decisión de la Alcaldía Mayor de Bogotá, se determinó que el proyecto del Corredor Férreo del Sur correspondería a una línea ferroviaria de tipo Metro Pesado, que se encuentra compartida con la jurisdicción del municipio de Soacha. Por tanto, a continuación, se presenta la caracterización del corredor seleccionada para el desarrollo del proyecto corredor férreo del sur.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar estudios de prefactibilidad del Corredor Férreo del Sur en la modalidad ferroviaria, abordando aspectos técnicos y operacionales necesarios para proyectar la infraestructura, superestructura y sistemas asociados, así como su articulación con otros proyectos de transporte en la región Bogotá-Cundinamarca, con el propósito de establecer un sistema ferroviario eficiente y sostenible que responda a las demandas futuras y contribuya al mejoramiento de la movilidad en la región.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar prediseños de la infraestructura y la superestructura ferroviaria, considerando obras civiles y elementos de la vía.
- Proponer y realizar el prediseño de los sistemas de señalización, comunicaciones, alimentación de energía eléctrica y otros componentes estructurales.
- Proponer y realizar el prediseño de las instalaciones ferroviarias, tales como, talleres de mantenimiento, nodos de terminación y estaciones, adaptados a las demandas y condiciones operacionales específicas del proyecto.
- Analizar y seleccionar la tipología de material rodante más adecuada, en función de las condiciones de operación, demanda prevista y compatibilidad con otros sistemas ferroviarios de la región.
- Realizar la propuesta y prediseño de integración del sistema ferroviario, abordando aspectos como la supervisión y control, sistemas de alimentación de energía eléctrica, señalización, telecomunicaciones, peaje y control de acceso, entre otros.
- Evaluar la posibilidad de centralizar la operación del proyecto en un solo Centro de Control de Operaciones integrado con otras líneas férreas de la ciudad.
- Establecer recomendaciones técnicas para el desarrollo del proyecto en futuras etapas.
- Incluir la participación de un Evaluador Independiente de la Seguridad (EIS/ISA) desde el diseño de detalle hasta la puesta en servicio del proyecto.

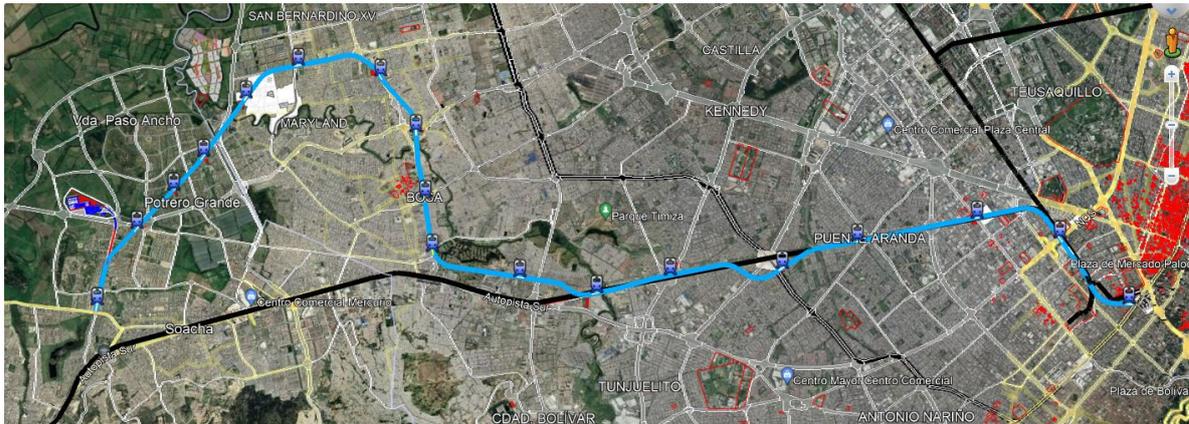
### 4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se localiza en la región Bogotá – Cundinamarca, con el objetivo de comunicar al centro de la ciudad con el municipio de Soacha haciendo uso del corredor férreo del sur existente, el cual es propiedad del Instituto Nacional del 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 impacta de manera positiva la población asentada en corredor de influencia Bogotá – Soacha.

Para el desarrollo del presente contrato, y definición del trazado más óptimo, se estudiaron 7 corredores los cuales se consideraron con su punto de inicio y final comunes y se compararon adecuadamente en una evaluación de matriz multicriterio. Como resultado de lo anterior, se definió el trazado final estudiado y profundizado en este contrato y se presenta con mayor detalle a continuación:

Esta alternativa hace uso del trazado original del Corredor Férreo del Sur, que actualmente está inactivo, y finaliza en la vía Indumil en el municipio de Soacha. Este trazado planteado se configura de la siguiente manera, el cual se describe desde Bogotá hasta Soacha:

1. Inicia cerca de la estación Central ubicada en la calle 26 con avenida Caracas. Este punto se define para integrar este sistema con el sistema de Transmilenio, la Primera Línea del Metro de Bogotá y el Regiotram de Occidente.
2. Continúa en una diagonal, sobre los predios de la localidad Santa Fé, buscando llegar al corredor existente; una vez alineado al corredor, cruza la avenida carrera 30 (también conocida como la NQS) con calle 22, y gira en sentido sur paralelamente a la diagonal 19C BIS para tomar la carrera 39.
3. En este punto continúa por la carrera 39 en sentido sur hasta la diagonal 16 sur.
4. En el punto Transversal 53 con diagonal 16sur, se desalinea en forma de curva al costado oriente de la transversal, pasando sobre los predios de las localidades Torremolinos, Tejar y Alquería de la Fragua, y se alinea nuevamente sobre el corredor férreo del sur existente en la calle 36 sur con transversal 68f. Este desvío se realiza con el fin de evitar las cimentaciones del puente vehicular de la glorieta primero (1) de Mayo con carrera 68, y viaducto y estación de la Primera Línea del Metro de Bogotá; sin embargo, se plantea un trazado cercano para permitir la integración de estos dos sistemas.
5. Continúa hacia el sur paralelamente a la transversal 68h hasta la carrera 63, para desviarse en diagonal sobre los predios Villa del Río, buscando alinearse sobre la calle 57b Sur, y sigue en dirección recta atravesando el Cementerio El Apogeo hasta llegar a la Avenida Bosa.
6. Continúa sobre la avenida Bosa en sentido oriente a occidente hasta la carrera 81. En este punto toma un desvío en forma de curva sobre el costado norte de la Avenida Bosa evitando pasar sobre la glorieta de Avenida Bosa con Carrera 84c. Lo anterior se realiza debido al gran tamaño de las cimentaciones de los puentes vehiculares de dicha zona. Aproximadamente sobre la carrera 87i el trazado regresa sobre la avenida Bosa.
7. Continúa sobre la avenida Bosa en sentido oriente a occidente hasta la glorieta de la avenida Ciudad de Cali.
8. En este punto gira a la izquierda en sentido sur sobre la carrera 91 hasta conectar con la Avenida circunvalar del sur.
9. Aproximadamente sobre la calle 83 sur se desvía el trazado en sentido occidente a oriente atravesando los predios de la localidad San Bernardino XVIII, cruzando el río Tunjuelo, predios de la localidad Ciudad Verde, avenida San Marón, y predios de El Danubio, hasta conectar y alinearse con la avenida San Marón sentido occidente a oriente, hasta llegar a la intersección con la vía Indumil.



**Figura 1 Trazado Corredor Férreo del Sur.**

## 5 PREDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE VÍA

En relación con el Prediseño de la Infraestructura de la vía, es importante mencionar que el componente de Geología y Geotecnia es fundamental en la selección del método constructivo para los túneles del sistema subterráneo del Corredor Férreo del Sur ya que en este se encuentra descrito el estudio de suelos en el trazado seleccionado.

Este componente profundiza en temas como el estudio geológico, estudio geotécnico, hidrogeología, análisis de riesgos geotécnicos y monitoreo geotécnico, lo que influye en la selección del método de construcción y el diseño del túnel.

Para más información sobre estos temas, se recomienda revisar el documento específico de Geología y Geotecnia del proyecto, con la referencia N° 11. CAC-SGC-GEO-INF.PAS-1-v.3 (se anexa con este documento)

Para el sistema subterráneo del Corredor Férreo del Sur, es necesario construir túneles. El diseño de estos túneles debe considerar los siguientes aspectos:

Las condiciones geológicas y geotécnicas son factores fundamentales para considerar en el diseño y construcción de túneles para el Corredor Férreo del Sur. Estas condiciones influyen en la selección del método de construcción, los materiales de revestimiento y la impermeabilización del túnel, así como en el diseño de la infraestructura de vía en general. A continuación, se profundiza en algunos aspectos importantes de las condiciones geológicas y geotécnicas:

- **Estudio geológico:** Es fundamental realizar un estudio geológico detallado en el área del trazado del corredor para identificar las características geológicas, como la litología, la estratigrafía, las fallas y las fracturas. Este estudio proporciona información sobre la formación y distribución de las rocas y los suelos en el área, lo que es esencial para la selección del método de construcción y el diseño del túnel.
- **Estudio geotécnico:** El estudio geotécnico se centra en las propiedades mecánicas, hidráulicas y de deformación de los suelos y rocas en el trazado del corredor. Esto incluye la determinación de la resistencia al corte, la compresibilidad, la permeabilidad y la estabilidad de los materiales. Estas

propiedades influyen en el diseño de la estructura del túnel, la selección de los materiales de revestimiento y las medidas de impermeabilización.

- **Hidrogeología:** La evaluación de las condiciones hidrogeológicas es crucial para identificar la presencia de agua subterránea y su impacto en la construcción y operación del túnel. Un estudio hidrogeológico evalúa la dirección y velocidad del flujo del agua subterránea, la presión de poros y el nivel freático. Esta información es necesaria para el diseño de sistemas de drenaje y control de infiltraciones en el túnel.
- **Análisis de riesgos geotécnicos:** La identificación y evaluación de riesgos geotécnicos, como deslizamientos de tierra, hundimientos y movimientos de ladera, es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad del túnel y su entorno. Un análisis de riesgos geotécnicos permite adoptar medidas de prevención y mitigación adecuadas en el diseño y construcción del túnel.
- **Monitoreo geotécnico:** Durante la construcción y operación del túnel, es importante realizar un monitoreo geotécnico para controlar las condiciones del terreno, detectar posibles cambios y tomar medidas correctivas en caso de desviaciones respecto a las condiciones previstas. El monitoreo puede incluir la medición de deformaciones, desplazamientos, presiones de poros y otros parámetros relevantes.

La selección del método de construcción del túnel dependerá de las condiciones geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas identificadas en los estudios mencionados anteriormente. Los métodos comunes de construcción de túneles incluyen la excavación con tuneladoras (TBM), el método de excavación y soporte en mina (NATM) y la excavación por voladura (SEM). Cada método tiene sus ventajas y desventajas, y la selección debe basarse en un análisis exhaustivo de factores como el tipo de terreno, el diámetro y la longitud del túnel, y las limitaciones de tiempo y coste.

A continuación, se describen en detalle los tres métodos comunes de construcción de túneles mencionados previamente.

## 5.1 EXCAVACIÓN CON TUNELADORAS (TBM):

Las tuneladoras son máquinas especializadas diseñadas para excavar túneles en diferentes tipos de terreno, desde suelos blandos hasta rocas duras. Estas máquinas cuentan con un escudo de corte que excava el material del frente del túnel mientras una serie de brazos hidráulicos colocan el revestimiento, generalmente segmentos de hormigón prefabricados, en la pared del túnel conforme avanza la excavación. Las TBM son adecuadas para la construcción de túneles de gran diámetro y longitud, y pueden ofrecer una excavación más rápida y precisa en comparación con otros métodos. Sin embargo, suelen tener costos iniciales más altos y pueden ser difíciles de utilizar en terrenos geológicamente complejos o en condiciones extremas de agua subterránea.

Las tuneladoras (TBM) pueden clasificarse en diferentes tipos según el tipo de terreno en el que están diseñadas para operar y las técnicas de excavación utilizadas.

Algunos de los tipos más comunes de TBM incluyen:

**TBM de escudo abierto:** Estas máquinas son adecuadas para terrenos estables y cohesivos, como arcillas y rocas sedimentarias. La cabeza de corte excava el material del frente del túnel y el material excavado es transportado hacia la parte trasera de la máquina a través de una cinta transportadora o tubería de lodo. El escudo abierto no es adecuado para terrenos inestables o con alta presencia de agua subterránea, ya que no ofrece protección contra posibles derrumbes o inundaciones.

**TBM de escudo cerrado:** Estas máquinas están diseñadas para operar en terrenos inestables o con alta presencia de agua subterránea. El escudo cerrado proporciona una barrera de protección entre la excavación y el entorno exterior. Existen dos tipos principales de TBM de escudo cerrado: las TBM de presión de tierra (EPB) y las TBM de presión de lodo (SLB). Las EPB utilizan un tornillo sinfín para mantener la presión de tierra en el frente de la excavación y extraer el material excavado, mientras que las SLB utilizan un lodo de bentonita para equilibrar la presión en el frente del túnel y mantener la estabilidad de la excavación. Ambos tipos de TBM de escudo cerrado permiten el control de la presión del terreno y la gestión del agua subterránea durante la excavación.

**TBM de doble escudo:** Estas máquinas combinan las características de las TBM de escudo abierto y cerrado y están diseñadas para operar en terrenos mixtos que varían en estabilidad y condiciones de agua subterránea. Las TBM de doble escudo pueden cambiar rápidamente entre modos de operación según las condiciones del terreno y proporcionar un soporte estructural continuo durante la excavación.

**TBM de perforación y voladura (D&B):** Estas TBM están diseñadas para operar en rocas muy duras y fracturadas, donde la excavación convencional no es eficiente. Las TBM de D&B utilizan una serie de brazos de perforación para perforar agujeros en el frente del túnel, que luego son llenados con explosivos y detonados para romper la roca y avanzar en la excavación. Aunque estas TBM pueden ser más lentas que otros tipos, ofrecen una solución efectiva para la excavación en rocas extremadamente duras.

#### 5.1.1 Ventajas del método de excavación con tuneladora (TBM):

**Velocidad:** Las TBM pueden excavar túneles a un ritmo más rápido que los métodos de excavación tradicionales, como el NATM. Esto puede reducir significativamente el tiempo de construcción y, en consecuencia, los costos asociados.

**Seguridad:** El proceso de excavación con TBM es menos dependiente de la intervención humana directa, lo que minimiza la exposición de los trabajadores a riesgos geotécnicos y reduce la probabilidad de accidentes.

**Calidad:** Las TBM proporcionan un alto grado de precisión y control en la excavación, lo que permite una mayor uniformidad en la forma y dimensiones del túnel.

**Menos impacto ambiental:** Las TBM generan menos vibraciones, ruido y emisiones de polvo en comparación con los métodos de excavación convencionales. Esto puede reducir el impacto en las estructuras cercanas y las comunidades.

**Continuidad del proceso:** La excavación y el revestimiento del túnel se realizan de manera continua en una sola operación, lo que mejora la eficiencia y reduce la posibilidad de problemas de estabilidad.

#### 5.1.2 Desventajas del método de excavación con tuneladora (TBM):

**Costo inicial:** Las TBM son máquinas especializadas y costosas. El costo de adquisición, transporte, montaje y mantenimiento puede ser significativo, especialmente si se compara con otros métodos de construcción de túneles.

**Condiciones geológicas específicas:** Las TBM son más eficientes en condiciones geológicas uniformes y predecibles. Si el terreno es heterogéneo o presenta condiciones geotécnicas desfavorables, como zonas de falla o presencia de agua, puede haber dificultades y retrasos en la excavación.

**Tamaño y acceso limitado:** Las TBM son máquinas de gran tamaño y requieren una logística compleja para su transporte e instalación. Esto puede ser un desafío en áreas urbanas densas o con acceso limitado.

**Personal especializado:** El manejo y mantenimiento de una TBM requiere personal altamente capacitado y experimentado. La disponibilidad de este tipo de trabajadores puede ser un desafío en ciertas regiones o proyectos.

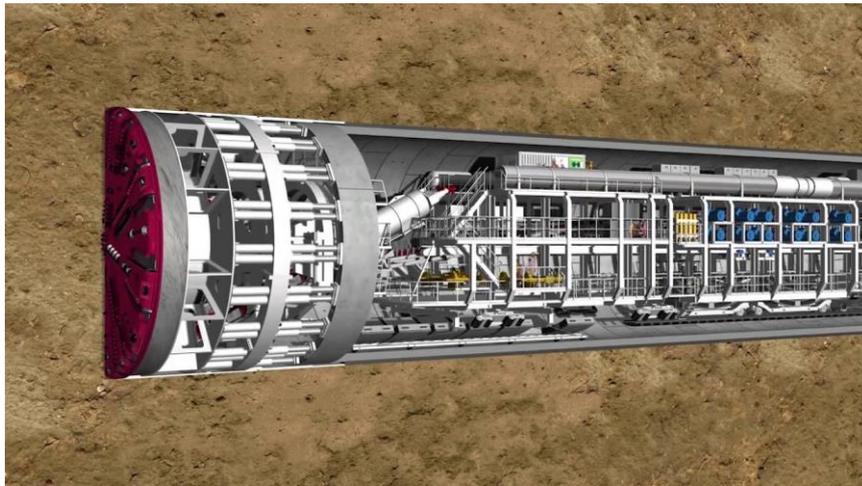
**Dificultad en la adaptación a cambios en el trazado:** Las TBM tienen cierta rigidez en cuanto a cambios en el trazado del túnel durante la construcción. Si es necesario realizar ajustes en el diseño o la ruta del túnel, esto puede ser más complicado y costoso en comparación con otros métodos de construcción de túneles, como el NATM, que permite una mayor flexibilidad.

**Tiempo de preparación y movilización:** El proceso de transporte, montaje y puesta en marcha de una TBM puede llevar tiempo y recursos significativos. Esto puede afectar el cronograma general del proyecto, especialmente si se presentan problemas o retrasos inesperados.

**Riesgo de averías:** Las TBM son máquinas complejas y, como tal, pueden experimentar averías mecánicas o eléctricas durante la excavación. Las reparaciones pueden ser costosas y requerir tiempo, lo que puede afectar el progreso del proyecto.

**Dificultades en la disposición de escombros:** La gestión y eliminación de los escombros generados por la excavación de la TBM puede ser un desafío, especialmente en áreas urbanas o con restricciones ambientales.

El método de excavación con tuneladora (TBM) ofrece varias ventajas en términos de velocidad, seguridad, calidad y menor impacto ambiental. Sin embargo, también presenta desafíos en términos de costo inicial, condiciones geológicas específicas, tamaño, acceso limitado y otros factores. La selección del método de construcción de túneles más adecuado debe basarse en una evaluación exhaustiva de las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio, así como en factores económicos, logísticos y ambientales específicos del proyecto. En algunos casos, el uso de una TBM puede ser la mejor opción, mientras que en otros, el método de construcción de túneles, como el NATM, puede ser más adecuado.



**Figura 2** Excavación con Tuneladora TBM

Fuente: Web

## 5.2 MÉTODO DE EXCAVACIÓN Y SOPORTE EN MINA (NATM)

El método de excavación y soporte en mina (NATM), también conocido como Método Austríaco, es un enfoque flexible y adaptable para la construcción de túneles que se basa en la interacción entre el proceso de excavación y el soporte del terreno. A continuación, se profundiza en varios aspectos clave del NATM:

**Secuencia de excavación:** La excavación en NATM se lleva a cabo en pequeñas secciones secuenciales, llamadas rondas de avance. La secuencia de excavación puede variar según las condiciones geotécnicas y las cargas estructurales esperadas, y puede incluir la excavación de la clave (parte superior del túnel), las paredes laterales y el invert (parte inferior del túnel).

**Soporte inicial:** Después de cada ronda de avance, se instala un soporte inicial para estabilizar la excavación y prevenir el colapso del terreno. El soporte inicial puede incluir la aplicación de hormigón proyectado (shotcrete), la colocación de mallas metálicas o geotextiles, y la instalación de cerchas, puntales o anclajes. El soporte inicial se adapta a las condiciones geotécnicas específicas y se diseña para proporcionar la estabilidad necesaria hasta que se instale el soporte final.

**Soporte final:** El soporte final en NATM puede incluir la construcción de un revestimiento de hormigón armado, la instalación de segmentos de hormigón prefabricado o la inyección de cemento en el terreno circundante. El soporte final proporciona resistencia estructural adicional y protección contra la infiltración de agua. La selección y diseño del soporte final dependen de las condiciones geotécnicas, las cargas de diseño y los requisitos de durabilidad y mantenimiento del túnel.

**Monitoreo y adaptación:** El NATM se basa en la adaptación continua al terreno y a las condiciones geotécnicas encontradas durante la excavación. El monitoreo geotécnico e instrumental se realiza para observar deformaciones, desplazamientos y presiones en el soporte y el terreno circundante. Si el monitoreo indica que las condiciones reales difieren de las condiciones previstas, se pueden ajustar el diseño y los métodos de construcción para adaptarse a las nuevas condiciones.

### 5.2.1 Ventajas del NATM:

Este método es conocido por su versatilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones geotécnicas y geometrías de túnel. Algunas ventajas del NATM incluyen:

**Adaptabilidad:** El NATM puede ser utilizado en una amplia variedad de terrenos y condiciones geotécnicas, desde suelos blandos hasta rocas duras. Esto permite la construcción de túneles en áreas geológicamente complejas o cambiantes.

**Flexibilidad en la geometría del túnel:** El NATM permite la construcción de túneles con diferentes formas y tamaños, incluyendo secciones de túneles con geometría irregular o cambios de dirección.

**Optimización del soporte:** El NATM permite el uso del terreno excavado como parte del soporte estructural, lo que puede reducir los costos de construcción y minimizar el impacto ambiental.

**Monitoreo y control:** El enfoque adaptable del NATM permite un ajuste continuo del diseño y la construcción en función de las condiciones geotécnicas reales encontradas durante la excavación, lo que ayuda a garantizar la estabilidad y seguridad del túnel.

### 5.2.2 Desventajas del NATM:

A pesar de sus ventajas, el NATM también presenta algunas desventajas:

**Velocidad de excavación:** La velocidad de excavación en el NATM suele ser más lenta que la de las TBM, ya que la excavación y el soporte se realizan secuencialmente en lugar de simultáneamente.

**Mano de obra y supervisión:** El NATM puede requerir más mano de obra y supervisión en comparación con la construcción de túneles utilizando TBM, ya que el proceso de excavación y soporte es más manual y depende en gran medida del conocimiento y la experiencia del equipo de construcción.

**Impacto en el entorno:** La excavación secuencial y el uso de maquinaria pesada en el NATM pueden generar vibraciones, ruido y emisiones de polvo que pueden afectar a las estructuras cercanas y a las comunidades. Sin embargo, este impacto puede ser mitigado mediante la implementación de medidas de control adecuadas y la selección de equipos y técnicas de construcción apropiados.

El método de excavación y soporte en mina (NATM) es un enfoque versátil y adaptable para la construcción de túneles que permite ajustar el diseño y los métodos de construcción según las condiciones geotécnicas reales encontradas durante la excavación. Aunque el NATM puede ser más lento y laborioso que las TBM, ofrece una solución flexible y eficiente para la construcción de túneles en terrenos geológicamente complejos o cambiantes.



**Figura 3 Método de Excavación y soporte NATM**

Fuente: Web

### 5.3 MÉTODO DE EXCAVACIÓN POR VOLADURA (SEM)

El Método de Excavación por Voladura (SEM, por sus siglas en inglés, Sequential Excavation Method) es una técnica de construcción de túneles que emplea explosivos para romper y extraer el material del terreno. Este método es también conocido como New Austrian Tunneling Method (NATM) o Sprayed Concrete Lining (SCL) en algunos casos. Aunque se mencionó anteriormente el NATM, es importante mencionar que a veces se utilizan de manera intercambiable, aunque el SEM es una técnica más específica y centrada en el uso de explosivos.

A continuación, se profundiza en el proceso del Método de Excavación por Voladura (SEM):

**Perforación:** Se realizan perforaciones en la roca en un patrón específico, que luego se llenan con explosivos. El patrón de perforación está diseñado para maximizar la eficiencia de la voladura y minimizar los daños en la roca circundante.

**Voladura:** Los explosivos se detonan de manera controlada, lo que causa la fractura y el desprendimiento de la roca. La secuencia de detonación se diseña cuidadosamente para controlar la cantidad de energía liberada y minimizar las vibraciones y la sobrepresión del aire.

**Extracción:** Después de la voladura, se extrae el material suelto, también conocido como escombros o muck, utilizando maquinaria pesada, como cargadoras frontales, excavadoras o sistemas de transporte como cintas transportadoras o trenes de vagones. La extracción del material puede ser en seco o mediante la utilización de sistemas de transporte de lodos.

**Sostenimiento:** Una vez que se ha eliminado el escombros, se aplica un revestimiento temporal o permanente en la cara del túnel para proporcionar soporte y estabilidad. El tipo de sostenimiento depende de la calidad de la roca y puede incluir hormigón proyectado, mallas de acero, pernos de roca, cerchas o segmentos de hormigón

prefabricado. El sostenimiento se aplica en capas sucesivas, y su diseño puede adaptarse a medida que se avanza la excavación y se obtiene más información sobre las condiciones del terreno.

**Avance y ciclos:** El proceso de perforación, voladura, extracción y sostenimiento se repite en ciclos sucesivos hasta que se completa la longitud del túnel. La longitud del avance en cada ciclo depende de las condiciones del terreno y de los requerimientos de producción.

El Método de Excavación por Voladura (SEM) es particularmente adecuado para la construcción de túneles en condiciones geológicas difíciles o en terrenos con rocas de baja calidad, ya que el método es adaptable y puede ajustarse a las condiciones cambiantes del terreno. Además, es una técnica probada y bien establecida en la industria de la construcción de túneles.

### 5.3.1 Ventajas del método de excavación por voladura (SEM):

**Flexibilidad:** El SEM permite adaptar el proceso de construcción a las condiciones geológicas y geotécnicas específicas encontradas durante la excavación.

**Menor costo:** En comparación con las tuneladoras (TBM), el SEM suele ser más económico en términos de inversión en equipos y maquinaria.

**Capacidad para atravesar fallas y zonas de roca de baja calidad:** El SEM es eficiente en la excavación de rocas de diversas calidades y puede adaptarse a condiciones geológicas difíciles.

**Menor impacto en el medio ambiente:** La utilización de explosivos controlados y la minimización de las vibraciones pueden reducir el impacto ambiental en comparación con otros métodos de excavación.

### 5.3.2 Desventajas del método de excavación por voladura (SEM):

**Velocidad de construcción:** La tasa de avance en la construcción del túnel es generalmente más lenta en comparación con la utilización de tuneladoras (TBM).

**Seguridad:** El uso de explosivos y la manipulación de materiales peligrosos pueden aumentar los riesgos asociados con la seguridad de los trabajadores.

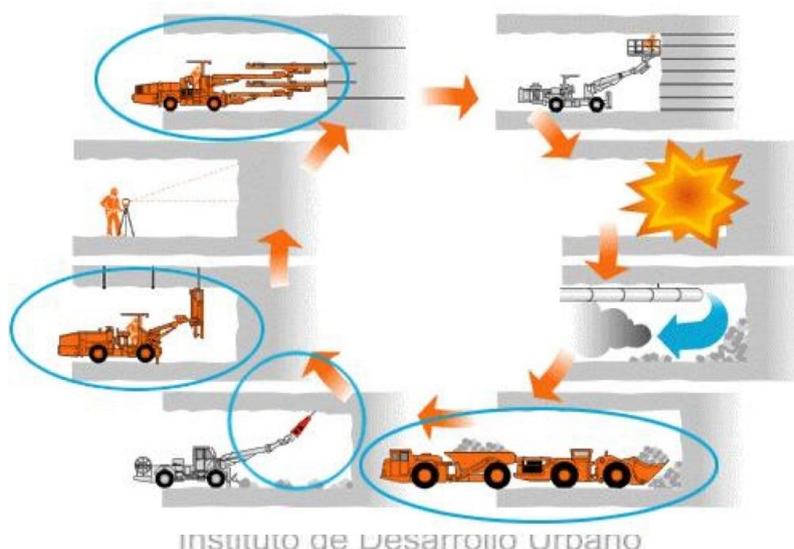
**Vibraciones y daños a estructuras cercanas:** Aunque las voladuras se realizan de manera controlada, pueden generar vibraciones que, si no se gestionan adecuadamente, pueden causar daños en estructuras cercanas o afectar a comunidades aledañas.

**Mayor dependencia de la mano de obra:** El método SEM requiere un mayor número de trabajadores en comparación con la construcción de túneles utilizando tuneladoras (TBM). Esto puede aumentar los costos laborales y los riesgos asociados con la seguridad y la salud ocupacional.

**Variabilidad en la calidad del revestimiento:** La aplicación de hormigón proyectado y otros sistemas de sostenimiento en condiciones de campo puede resultar en variabilidad en la calidad y consistencia del revestimiento, en comparación con los segmentos prefabricados de hormigón utilizados en las TBM.

El Método de Excavación por Voladura (SEM) es una opción viable para la construcción de túneles en condiciones geológicas desafiantes y en proyectos donde la flexibilidad y la adaptabilidad son cruciales. Sin embargo, también es importante tener en cuenta las desventajas asociadas con este método y gestionar adecuadamente los riesgos y desafíos durante la planificación, diseño y construcción del túnel.

Al seleccionar el método de construcción de túneles más adecuado para un proyecto específico, es fundamental llevar a cabo estudios geológicos y geotécnicos detallados y evaluar las condiciones del terreno. También es importante considerar factores como el costo, el tiempo de construcción, la seguridad y el impacto ambiental al tomar decisiones sobre el enfoque más apropiado para la construcción de túneles en el Corredor Férreo del Sur u otros proyectos similares.



Instituto de Desarrollo Urbano  
**Figura 4 Método de Excavación por voladura (SEM)**

Fuente: Web

#### 5.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOS TÚNELES

Para la construcción de los túneles del Corredor Férreo del Sur, se recomienda utilizar el método de excavación con tuneladoras (TBM) por las siguientes razones:

**Mayor precisión en la excavación:** Las tuneladoras permiten excavar el túnel con mayor precisión que otros métodos, lo que es esencial en la construcción de túneles bitubo, donde se requiere que los dos tubos estén alineados y nivelados.

**Menor impacto ambiental:** El uso de tuneladoras reduce el impacto ambiental en comparación con otros métodos de construcción, como la excavación por voladura, ya que genera menos ruido, vibraciones y emisiones de polvo.

**Mayor seguridad en la construcción:** Al excavar el túnel a través del terreno, las tuneladoras reducen el riesgo de colapso o desprendimiento de rocas, lo que aumenta la seguridad del personal y la estabilidad del túnel en construcción.

**Mayor velocidad de construcción:** Las tuneladoras pueden excavar túneles a una velocidad más rápida que otros métodos de construcción, lo que permite acelerar el proceso de construcción y reducir los costos asociados con el tiempo de construcción.

**Adecuado para la construcción de túneles bitubo:** La tuneladora es adecuada para la construcción de túneles bitubo, donde se requiere la excavación de dos túneles paralelos al mismo tiempo, lo que aumenta la eficiencia y reduce el tiempo de construcción.

Para las zonas de cambiavías y terceras vías, donde se requiere una mayor flexibilidad y adaptabilidad en la construcción de la infraestructura de vía, se recomienda complementar la excavación con TBM con el método de excavación y soporte en mina (NATM). Esto se debe a que el NATM permite una mayor flexibilidad en la geometría y el diseño del túnel, lo que facilita la construcción de los cambios de vía y otras estructuras complejas. Además, el NATM también permite una mayor adaptación a las condiciones geológicas variables y cambiantes en estas zonas, lo que es importante para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura.

La excavación con TBM es una buena opción para la construcción de túneles en línea recta debido a su alta eficiencia, precisión y reducción del riesgo de colapso o desprendimiento de rocas durante la excavación. Sin embargo, cuando se requieren zonas de cambiavías y terceras vías en el trazado, la excavación con TBM puede resultar menos conveniente debido a las limitaciones de maniobrabilidad y el tamaño de la máquina.

El uso de una combinación de TBM y NATM en el Corredor Férreo del Sur permitiría aprovechar las ventajas de cada método y garantizar una construcción eficiente, segura y de alta calidad.

## 5.5 SELECCIÓN DEL TIPO DE TÚNEL

La selección del tipo de túnel se realiza en cumplimiento a lo establecido en la normativa Alemana N°853.1001, como se muestra en la siguiente imagen:

Richtlinie		
Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik	Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten	
Entwurfsgrundlagen	853.1001	
Allgemeine Regelungen	Seite 1	
<b>1 Allgemeines</b>		
(1) Tunnel sind grundsätzlich eingleisig zu planen. Soll ein Tunnel ausnahmsweise zweigleisig geplant werden, so ist die Entscheidung hierüber unter Berücksichtigung	Querschnittswahl ein- oder zweigleisig	
- der Vorgaben der EBA-Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln“,		
- des Betriebsprogramms und der Ril 413 und		
- der Ril 123		
zu treffen.		

**Figura 5 Normativa Alemana 853.1001**

Fuente: Web

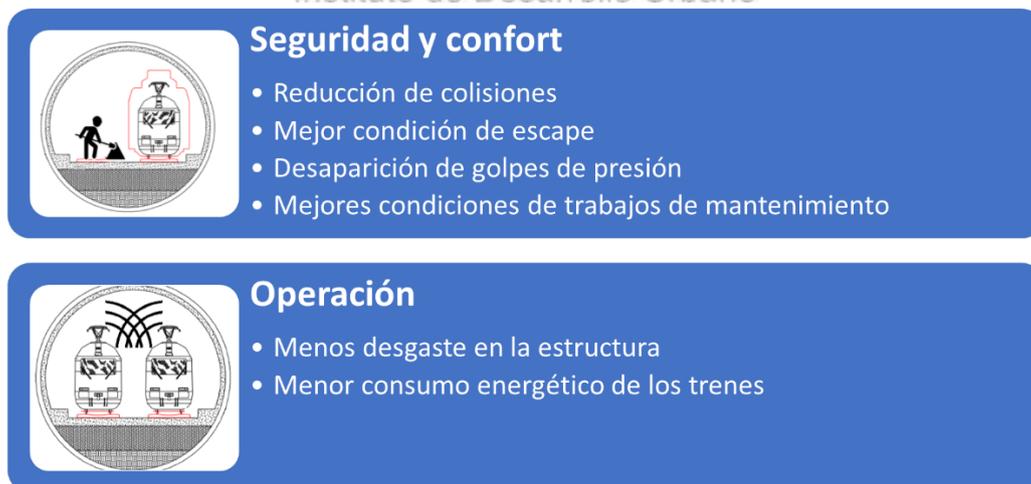
**Traducción:** Los Túneles deben ser planificados principalmente como de una sola vía. Si excepcionalmente se planea un túnel de dos vías, la decisión al respecto debe ser tomada considerando:

- *Las directrices de la Directiva EBA - Requisitos de Protección contra Incendios y Catástrofes para la Construcción y Operación de Túneles Ferroviarios,*
- *El programa de operaciones y las regulaciones Ril 413 (Planificación de Infraestructura Operativa) y*
- *Ril 123. (manejo de emergencias)*

Se ha seleccionado esta normativa debido a su especificidad en la tarea de seleccionar el tipo de túnel más adecuado para un sistema ferroviario subterráneo de tipo Metro pesado. Actualmente, la normativa colombiana no establece un criterio claro para el desarrollo de esta labor en la implementación de túneles ferroviarios. En este contexto, el único recurso disponible es el Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera para Colombia, edición del año 2021. Sin embargo, este manual no se ajusta al contexto necesario para el prediseño que se está abordando.

Es esencial considerar que, la normativa seleccionada proporciona una guía detallada y específica para la selección y diseño de túneles ferroviarios. Esta normativa, a pesar de no ser local, ofrece un marco de referencia sólido y probado que puede adaptarse a las condiciones y necesidades específicas de los proyectos ferroviarios en Colombia. Por lo tanto, su adopción puede contribuir a garantizar que los túneles se diseñen y construyan de acuerdo con las mejores prácticas internacionales, maximizando la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de estos proyectos de infraestructura crítica.

La selección de la sección bítubo se tomó en cuenta para agregarle un confort adicional al servicio y operación del proyecto.



**Figura 6 Beneficios de la selección**

Fuente: Elaboración Propia

En la actualidad, la tendencia en el diseño de túneles ferroviarios se inclina hacia la implementación de sistemas bítubo, con una única vía en cada uno. Esta configuración es reconocida por su superioridad en términos de seguridad, principalmente debido a la

disminución significativa en el riesgo de colisiones de trenes y a la optimización de las condiciones para la evacuación y operaciones de rescate.

Además, los sistemas bitubo proporcionan un entorno más seguro para las operaciones de mantenimiento. En este esquema, uno de los tubos puede ser cerrado completamente durante las labores de mantenimiento, permitiendo que el servicio ferroviario continúe sin interrupciones en el tubo paralelo. Sin embargo, es importante destacar que este tipo de túneles suelen implicar costos de construcción y operación más elevados en comparación con los sistemas de un solo tubo para ambas vías.

En el diseño de estos sistemas bitubo, se deben considerar ciertas particularidades en áreas como la aerodinámica, las condiciones climáticas, el equipamiento y la ventilación del túnel. Entre los aspectos específicos a considerar se encuentran: el análisis de las condiciones aerodinámicas, que incluye fluctuaciones de presión, velocidad del aire y requisitos de potencia de tracción; y la caracterización de las condiciones climáticas, como temperatura y humedad, entre otros factores.

Por lo tanto, el diseño de túneles bitubo requiere un enfoque integral y meticuloso, que garantice tanto la seguridad y eficiencia operativa como la sostenibilidad a largo plazo del sistema ferroviario.

#### **Comparación de un túnel de doble vía con un túnel de bitubo de una sola vía.**

Aunque ambos sistemas tienen sus méritos, se menciona que, en muchos casos, el sistema bitubo puede ser la opción más segura y eficiente.

#### **Túneles Monotubo:**

##### *Ventajas:*

**Costo:** Los túneles monotubo suelen ser más económicos en términos de construcción y mantenimiento, ya que solo se requiere excavar y mantener un solo túnel.

**Espacio:** Este tipo de túneles puede ser más adecuado en áreas donde el espacio es limitado, ya que ocupan menos espacio subterráneo.

##### *Desventajas:*

**Seguridad:** En un túnel monotubo, los trenes que viajan en direcciones opuestas comparten el mismo espacio, lo que puede aumentar el riesgo de colisiones.

**Mantenimiento:** Durante las operaciones de mantenimiento, es probable que se deba interrumpir todo el servicio de trenes, ya que no hay un tubo alternativo para desviar el tráfico.

#### **Túneles Bitubo:**

##### *Ventajas:*

**Seguridad:** Los túneles bitubo son generalmente más seguros, ya que los trenes que viajan en direcciones opuestas están físicamente separados, reduciendo el riesgo de colisiones. Además, en caso de emergencia, uno de los túneles puede ser utilizado para la evacuación.

**Mantenimiento:** Durante las operaciones de mantenimiento, el servicio puede continuar en el otro túnel, minimizando las interrupciones del servicio.

Capacidad: Los túneles bitubo pueden manejar un mayor volumen de tráfico, ya que permiten que los trenes viajen simultáneamente en ambas direcciones.

*Desventajas:*

Costo: Los túneles bitubo son más costosos de construir y mantener debido a la necesidad de excavar y mantener dos túneles separados.

Espacio: Este tipo de túneles requiere más espacio subterráneo, lo que puede ser un problema en áreas densamente pobladas o con restricciones geológicas.

En la siguiente imagen se pueden observar otras comparaciones de los tipos de túnel monotubo y bitubo.

Monotubo	Bitubo	Corredor del sur
Las estaciones son más estrechas, pero más profundas.	La inserción urbana de los túneles es más flexible por ser más pequeños e independientes entre sí.	Existen cimentaciones profundas de estructuras importantes como viaductos de regiotram de occidente y PLMB, así como la red matriz tibitoc
Los enlaces entre vías se hacen dentro del túnel sin más requerimientos.	La inserción urbana de las estaciones es más flexible.	
No requiere de obras singulares (Cajas de Cut & Cover de conexión) para disponer los enlaces entre vías. Estas excavaciones son de difícil inserción y construcción, y de alto costo; por 10 que resultan inviábiles.	Permite realizar hemi-estaciones.	
A igualdad de condiciones de operación, es más económico el mono túnel que el bitubo.	Permite desfasar longitudinalmente las hemi-estaciones.	
	<b>Por regla general, el diseño de un túnel de dos tubos da lugar a un diseño de estación de plataforma central.</b>	Esto permite un diseño de estaciones con fácil cambio de dirección
Un diseño de túnel de un solo tubo da lugar a un diseño de estación de andén lateral.	Desde el punto de vista funcional, la combinación de un andén central con una configuración de doble tubo tiene la ventaja de compartir el espacio y proporcionar una zona común para los pasajeros en el andén, independientemente de la dirección en que viajen. Sin embargo, este reparto del espacio puede causar problemas en caso de tráfico intenso con flujos cruzados. Además, la configuración central obliga a separar los túneles y, por tanto, las vías, lo que da lugar a curvas que repercuten en la velocidad comercial.	

## Operaciones de mantenimiento

Durante las labores de mantenimiento, a menudo es necesario restringir el tráfico de trenes o, en el peor de los casos, detener todo movimiento de trenes. Esto puede afectar más a un sistema con túnel monotubo para ambas vías que a un sistema con bitubo, ya que no es posible una ruta alternativa cuando hay personas trabajando en el tubo. Los sistemas de túneles bitubo permiten en principio cerrar un tubo y operar el otro de manera bidireccional. Esto permite el mantenimiento sin operación de trenes en el mismo tubo, lo que resulta en una mejora significativa de la seguridad para los trabajadores. El uso de locomotoras propulsadas por diésel durante el mantenimiento o cuando se genera polvo, podría aumentar la necesidad de ventilación. En este sentido, los sistemas de túneles bitubo de vía única también son más favorables, porque permiten una ventilación más eficiente.

Además, es necesario destacar que, durante el ciclo de vida de un proyecto, las fases de Operación y Mantenimiento representan entre un 70% y un 80% del costo total, en

comparación con la fase constructiva, que comprende entre un 20% y un 30%. Esta distribución de costos implica que la implementación de un túnel bítubo puede ofrecer un beneficio sustancial en términos de la relación costo-tiempo-beneficio.

Al optar por un diseño de túnel bítubo, se pueden maximizar los beneficios durante las etapas de operación y mantenimiento. Por ejemplo, en un sistema bítubo, uno de los túneles puede permanecer en funcionamiento mientras se realizan labores de mantenimiento en el otro, lo que minimiza las interrupciones del servicio y, por ende, los costos asociados. Además, la seguridad mejorada de los túneles bítubo puede resultar en menores costos a largo plazo en términos de gestión de riesgos y responsabilidad.

Por lo tanto, aunque la construcción de un túnel bítubo puede implicar un mayor costo inicial, los beneficios acumulados durante las fases de operación y mantenimiento pueden compensar esta inversión inicial, resultando en una mayor eficiencia económica a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

### **Conclusión de la selección del tipo de túnel**

En el pasado, los túneles monotubo de doble vía eran los más comunes para cualquier longitud, larga o corta. Los túneles bítubo se utilizaban principalmente para distancias muy largas. Actualmente, se prefiere el túnel bítubo para longitudes de túnel cada vez más cortas debido a varias características de seguridad. Actualmente, la mayoría de los túneles modernos de larga distancia se planifican como sistema bítubo. En comparación con los túneles monotubo de doble vía, los túneles bítubo podrían causar condiciones aerodinámicas más extremas (desviación de presión de la presión normal, diferencias de presión, fluctuaciones de presión en el tiempo, ondas de micro-presión) y conducir a un aumento de los requisitos de potencia de tracción. Sin embargo, el tráfico unidireccional en los túneles bítubo mejora el intercambio de aire y la calidad del clima del túnel. Los nuevos túneles ferroviarios, están equipados en su mayoría con ventilación mecánica. Los túneles bítubo permiten una mejor utilización de la ventilación mecánica y, en combinación con pasajes transversales, permite una reducción significativa de la distancia de escape durante un incendio, incluyendo un refugio libre de humo. Adicionalmente, se proporciona un mejor acceso para las operaciones de rescate debido a los pasajes transversales.

Finalmente, se concluye que, aunque los túneles bítubo pueden implicar un mayor costo inicial y requerir más espacio, su superioridad en términos de seguridad, mantenimiento y capacidad los convierte en una inversión a largo plazo más rentable y eficiente para un sistema tipo metro subterráneo.

Por otro lado, se encuentran las limitaciones de espacio subterráneo que el Corredor Férreo del Sur enfrenta en su trazado. En este contexto, se han identificado infraestructuras que solo pueden ser atravesadas eficientemente mediante la implementación de un túnel bítubo, como es el caso al atravesar las fundaciones del viaducto de la PLMB en la calle 68 con avenida 1ero de mayo, como se observa en la figura.



**Figura 7 Esquema de trazado con túnel bítubo**

Fuente: Elaboración Propia

Este tipo de túnel, a pesar de requerir un mayor espacio subterráneo, ofrece una serie de ventajas que lo hacen más adecuado para superar ciertos obstáculos infraestructurales.

## 5.6 PORTAL DE INGRESO AL SUBTERRÁNEO DESDE EL PATIO TALLER

Para la construcción del portal de entrada desde el Patio Taller del Corredor Férreo del Sur hacia el subterráneo, se recomienda utilizar el método de "cut and cover" o excavación y cubrimiento. Este método consiste en la excavación de una zanja en la superficie, seguida de la construcción de la estructura del túnel dentro de la zanja y, finalmente, la cobertura de la zanja con material de relleno y pavimentación.

El método de excavación y cubrimiento es comúnmente utilizado en construcciones subterráneas que se conectan con la superficie, como estaciones y patios talleres, ya que permite una construcción rápida y económica. Además, este método también proporciona la flexibilidad para ajustar el diseño y la construcción de la estructura del túnel según las condiciones locales del sitio.

Es importante mencionar que, al igual que en los túneles subterráneos, se deben realizar estudios geotécnicos para evaluar las condiciones del suelo y la roca en la zona del portal de entrada y salida, a fin de determinar el diseño y los materiales adecuados para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura. Estos estudios geotécnicos también se encuentran detallados en el documento correspondiente al componente de Geología y Geotecnia del proyecto.



**Figura 8 Excavación "Cut and Cover"**

Fuente: Web

## 5.7 PLATAFORMA DE VÍA DONDE REPOSA LA SUPERESTRUCTURA

La capa que va inmediatamente después de la estructura del túnel y que sirve de soporte para la superestructura de la vía en túneles monotubo o bitubo se denomina losa de fondo de túnel. Esta losa se construye con concreto y tiene como objetivo principal distribuir adecuadamente las cargas de la vía en placa y transmitir las a la estructura del túnel, garantizando así una buena estabilidad y durabilidad del sistema ferroviario.

El espesor de la losa de fondo de túnel depende de varios factores, como el diámetro del túnel, la altura libre disponible, el tipo de suelo, el peso de los trenes, entre otros. Estas medidas se encuentran detalladas en el documento de Diseño Geométrico Férreo.

En el caso del diámetro del túnel de 6.7 metros (medida entre ejes del anillo) como lo es para Corredor Férreo del Sur, el espesor de la losa de fondo de túnel recomendado puede variar entre 30 y 50 centímetros, dependiendo de las condiciones específicas del proyecto.

Considerando la altura del tren de 3.9 metros y el ancho del tren de 2.9 metros, es necesario dejar un espacio suficiente para la superestructura de la vía las canaletas laterales y el material del fondo del túnel. El peso por eje de 17.5 toneladas también debe ser considerado para el diseño de la losa de fondo de túnel, ya que debe ser capaz de soportar el peso del tren y las cargas dinámicas generadas por el movimiento.

## 6 PREDISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

### 6.1 PREDISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA

#### 6.1.1 ALCANCE DEL SISTEMA

Para la estructuración técnica de Etapa IV a nivel de prefactibilidad del Sistema de Superestructura de Vía del Corredor Férreo del Sur, es necesario estudiar inicialmente las alternativas de implementación existentes, considerándose como dato de importancia que la alternativa seleccionada para la construcción del Corredor Férreo del Sur será a nivel subterráneo, es decir, la Superestructura de Vía estará soportada sobre un sistema de túneles bítubo.

La implementación adecuada de una superestructura de vía que se ajuste a las necesidades del sistema de transporte y al entorno del sistema ferroviario, es de gran importancia para garantizar la calidad del servicio, la seguridad y la operatividad del Corredor Férreo del Sur.

La Superestructura de Vía, será la interfaz directa con el sistema de rodamiento de los trenes del corredor y será considerada como el primer elemento de la infraestructura ferroviaria, es por ello que debe existir en todo momento una correcta interrelación con la interfaz de material rodante y otros componentes de la infraestructura.

El presente documento contribuye al soporte técnico, para concretar las propuestas que se plantearán en el prediseño de la Superestructura de vía, teniendo en cuenta su contenido explicativo y comparativo a cada una de las alternativas de superestructura de vía, buscando la mejor opción a ser aplicada. Se presentan estudios comparativos realizados como análisis de costos de inversión asociados a cada sistema de vía y las ventajas o desventajas que pueda presentar cada sistema, estudiando el comportamiento a mediano y largo plazo de las estructuras ferroviarias de vía en placa exponiendo también los principales procesos constructivos para la superestructura de vía, sin dejar atrás el análisis realizado en la Etapa II, RAI, donde se analizaron los tipos de Superestructura utilizados en sistemas férreos de la actualidad, en especial en la Línea 2 del Metro de Bogotá, que tendrá características similares al Corredor Férreo del Sur.

Concretamente, este estudio comparativo tiene por objeto el análisis detallado de los distintos elementos que componen los costes de inversión directamente relacionados con las alternativas en estudio: los diferentes sistemas de vía en placa. Para alcanzarlo se han desarrollado los contenidos siguientes, oportunamente reflejados en la estructura del presente informe:

- Breve descripción funcional de los sistemas de vía objeto de estudio (diferentes tipos de vía en placa en túnel).
- Descripción y análisis de las partidas que componen los costos de inversión para los sistemas de vía objeto de estudio.
- Estudio de los parámetros de variación asociados a los sistemas de vía indicados.

### 6.1.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE VÍA OBJETO DE ESTUDIO

Esta sección describe sucintamente los sistemas de vía objeto de estudio, incidiendo en aquellos aspectos técnicos de diseño o constructivos que los diferencian.

Para cada una de las familias tecnológicas de vía en placa analizadas, se enumeran y justifican las tipologías consideradas y se describen luego sus características funcionales, por último, se seleccionará la más adecuada para el Corredor Férreo del Sur en base a una serie de criterios técnicos, operativos, económicos y de seguridad.

Entre los criterios técnicos, se pueden considerar factores como la capacidad de pasajeros (peso), la velocidad máxima permitida, la facilidad de mantenimiento, la durabilidad, la resistencia a la fatiga y la capacidad para soportar las vibraciones.

En cuanto a los criterios operativos, se pueden considerar factores como la disponibilidad de la tecnología en el mercado, la compatibilidad con la infraestructura ferroviaria existente, la facilidad de instalación y la capacidad para adaptarse a las necesidades cambiantes del sistema Metro ferroviario.

Los criterios económicos pueden incluir el costo de instalación y mantenimiento de la tecnología, la eficiencia energética y la capacidad para reducir los costos operativos a largo plazo.

Finalmente, los criterios de seguridad pueden incluir la capacidad para garantizar la seguridad de los trenes y de los pasajeros, la fiabilidad de la tecnología y la capacidad para resistir las condiciones climáticas del entorno.

En base a la evaluación de estos criterios, es posible seleccionar la tecnología de vía en placa más adecuada para el Corredor Férreo del Sur, teniendo en cuenta la importancia de encontrar un equilibrio entre los factores técnicos, operativos, económicos y de seguridad para asegurar el éxito del proyecto.

### 6.1.3 TIPOLOGÍAS DE ANÁLISIS

Resulta importante estudiar la tipología para sistemas de transporte de pasajeros tipo Metro pesado y de interés para su comparación con los sistemas de vía en placa. En los sistemas de tipo Metro, la vía en placa puede constituir una alternativa rentable en las líneas solicitadas por un elevado volumen de tráfico para las que el costo de la interrupción del servicio asociado a las labores de mantenimiento y renovación de la vía es elevado.

La vía en placa puede resultar una tecnología más económica si se considera el factor tiempo, además cumple elevadas exigencias de calidad geométrica asociadas a las circulaciones y ofrece un bajo costo de mantenimiento, que en comparación con la vía en balasto puede considerarse de mayor duración de servicio.

Para el caso específico de la vía principal (en túnel) del Corredor Férreo del Sur, se ha elegido la tecnología de vía placa. La vía placa es una solución de vía rígida en la que los carriles están fijados a una placa de concreto y acero y se instala directamente sobre

la estructura del túnel. Esta tecnología tiene la ventaja de proporcionar una alta estabilidad y durabilidad, y es especialmente adecuada para túneles tipo Metro.

Por otro lado, en el caso de los talleres, se ha elegido la tecnología de vía en balasto. La vía en balasto es una solución de vía flexible que utiliza una capa de balasto debajo de los rieles para proporcionar una mayor amortiguación y reducción del impacto. Esta tecnología es especialmente adecuada para áreas con menor tráfico de trenes y para áreas que poseen una mayor flexibilidad en el diseño y mantenimiento de la vía.

Es importante tener en cuenta que cada tecnología de vía tiene sus propias ventajas y desventajas, y la elección de una tecnología específica depende de las necesidades y requisitos específicos del proyecto. Por ejemplo, dentro del Patio-Taller en las áreas de mantenimiento preventivo y correctivo de trenes, mantenimiento de Bogíes, entre otros ambientes que se encuentren o formen parte del Taller, será necesario la implementación de vía en placa. Mas adelante, luego de la selección del tipo de vía para a Línea principal, se tratará el tema de las vías en taller.

Los apartados siguientes presentan una breve descripción funcional de cada sistema de vía en placa.

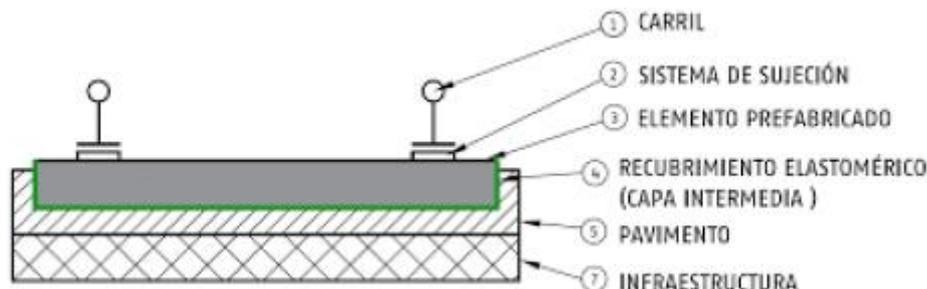
#### 6.1.4 VÍA EN PLACA

##### 6.1.4.1 TIPOLOGÍAS DE ANÁLISIS

Se denomina vía sobre base de hormigón o vía en placa a la estructura de vía donde la banqueta de balasto se ha sustituido por una losa de hormigón y los elementos destinados a proporcionar apoyo al carril y a mantener la estabilidad de la vía son bloques prefabricados que, en mayor o menor altura, según el tipo de sistema de vía en placa, se colocan dentro de la losa.

En los sistemas de losa continua, la elasticidad proviene por una parte de la placa de asiento bajo carril y, por otra, del elemento elástico interpuesto entre el bloque y la losa de hormigón.

En los sistemas de losas prefabricadas, con apoyos continuos o discretos, la presencia de elastómeros, o similares, bajo éstas proporciona una elasticidad complementaria a la aportada por la placa de asiento y por el elemento interpuesto entre el bloque y la losa, si lo hubiese.



**Figura 9 Superestructura de vía en placa.**

Fuente: Norma ADIF

Es necesario tener presente las ventajas y desventajas que ofrece un Sistema de Vía en placa para realizar la selección más adecuada.

#### 6.1.4.2 VENTAJAS DE LA VÍA EN PLACA

- Gran uniformidad de rigidez vertical, fuerte resistencia lateral y mejor transmisión de tensiones a capas de asiento de entre 1 y 3 N/cm<sup>2</sup>.
- La durabilidad o vida útil de las losas portantes, alrededor de 50 años, adicionalmente mejora la vida útil de otros elementos como el riel y la subbase.
- Conservación constante de la geometría de vía, con muy bajas variación ante cualquier tipo de velocidad de uso o explotación, haciendo que los mantenimientos sean escasos.
- La altura de construcción y el gálibo son mucho más bajos respecto al balasto, condición que ofrece una mayor ventaja en los sistemas de túnel.
- Uso multimodal, debido a la posibilidad de tránsito de vehículos neumáticos y peatones.
- Mejor estética y eficacia en la limpieza de los elementos que la componen.
- Por su alta precisión en el momento del montaje, son vías de mejores características de operación y mantenimiento.
- Son vías que tienen un mayor factor de seguridad en operación ante un riesgo de descarrilamiento (vías en balasto son más sensibles a asentamientos) y en momentos de emergencia para evacuación y tránsito. Esto último a diferencia de las vías en balasto donde pueden surgir contratiempos por la difícil accesibilidad para atención de contingencias.
- La variabilidad de sistemas de vía en placa hace que puedan adaptarse reduciendo niveles de vibración y ruido, aumentando el confort en el recorrido de los trenes.

#### 6.1.4.3 DESVENTAJAS DE LA VÍA EN PLACA

- Para los cambios súbitos de vía en balasto a vía en placa, que generan reacciones dinámicas, es necesario construir transiciones de rigidez.
- Margen de asentamientos reducidos, debido a que si hay falta de apoyos en algún tramo que provoquen esfuerzos de flexión, probablemente darán como resultado fisuras o roturas de la losa portante.
- Exigencia de los materiales de soporte para contribuir con la rigidez. Capas bajo la losa hidráulicamente ligadas de al menos 30cm de espesor en grava-cemento o cal y en explanaciones, también capas más rígidas (sub-balasto  $E_{v2} > 1.200$  kg/cm<sup>2</sup> y capas de forma ( $E_{v2} > 600-800$  kg/cm<sup>2</sup>)).
- El costo de los materiales suele ser mayor respecto a los de vía en balasto, pero teniendo en cuenta los costos de mantenimiento, esta podría no catalogarse finalmente como una desventaja, si se consideran los costos del ciclo de vida de la vía.
- Problemas acústicos en túneles largos, además de las vibraciones en el terreno por la homogeneidad de los materiales cuando no se realizan los tratamientos adecuados.

#### 6.1.4.4 APLICABILIDAD DE LA VÍA EN PLACA

La vía en placa es factible para aplicar en los diferentes sistemas de transporte férreo, como lo son:

- En plataforma
- Sobre terraplén
- Sobre viaducto
- En túnel

Para el Corredor Férreo del Sur se ha seleccionado como alternativa más adecuada la vía en túnel, por lo tanto, las descripciones se enfocarán en los sistemas de vía en placa ideales para túneles.

Las vías en balasto requieren una construcción de túnel con una altura mayor que la vía en placa, lo que supone una construcción más grande. Además, la accesibilidad para mantenimientos se torna más complicada, hay inestabilidad dentro del túnel y en caso de emergencia, la evacuación peatonal y vehicular es limitada, por lo tanto, este tipo de solución estará descartada.

La vía en placa permite tener una mejor accesibilidad, circulación y drenaje de la vía, logrando también que haya una conservación de la geometría por tiempos más prolongados, se puede proyectar específicamente la contra bóveda del túnel para un sistema de vía en placa y para una tipología en concreto, teniendo en cuenta el peso propio (carga muerta) que incrementan estos sistemas. Lo normal es que no haya movimientos transversales ni longitudinales (debido a la estabilidad térmica en el interior del túnel) que haya que compatibilizar.

En cuanto a la mantenibilidad de la superestructura con menores frecuencias y requisitos en mantenimiento, van a permitir diferir más en el tiempo la necesidad de solicitud de intervalos de intervención (bandas y cortes) específicos de esta especialidad. Pero se debe considerar el tiempo necesario para el resto de las especialidades, así que tampoco hay un “mantenimiento cero” global de la infraestructura ferroviaria. Aun así, esto permite mayores disponibilidades de tiempo globales para la operación.

La vía en placa es compatible con otros elementos de instalaciones e infraestructura también de baja mantenibilidad como la catenaria rígida (para alimentación en servicios de sistema tipo Metro o cercanías). También puede dar en general cabida en su diseño a cableado, canalizaciones de seguridad, balizas y circuitos, de una forma más integrada y protegida con la vía, con menor coste posterior de tratamiento. Las canalizaciones y conducciones de drenajes también están más integradas y tienen menor afección estructural con el paso del tiempo en cuanto las relacionadas con humedad y degradación por paso de aguas.

Se deben considerar puntos de alta importancia para la vía en placa en túnel que son: disponer un sistema de impermeabilización y drenaje adecuado, así como también limitar los asentamientos en el túnel.

### 6.1.5 TIPOS DE VÍA EN PLACA

Con el fin de presentar en esta Etapa IV una caracterización de la Superestructura de la vía y la Profundización sobre la alternativa seleccionada, es necesario definir los diferentes sistemas de vía en placa, que pueden englobarse en las tipologías siguientes:

- Vía en placa con bloques elásticos embebidos
- Vía en placa con traviesas embebidas
- Vía en placa con fijación directa
- Vía en placa con riel embebido
- Vía embebida en material elástico tipo resina
- Vía embebida en losa flotante de concreto

A continuación, se hará un análisis más profundo de cada una de las metodologías aplicables al Corredor Férreo del Sur, con el fin de brindar un mejor entendimiento de cuáles serían las mejores opciones que podrían ser aplicadas.

#### 6.1.5.1 VÍA EN PLACA CON BLOQUES ELÁSTICOS EMBEBIDOS

El sistema de vía en placa de bloques embebidos consiste en bloques apoyados en un material elástico, para posteriormente ser incrustados en la losa principal de concreto. Cada bloque es independiente y son instalados en la bandeja con elastómeros, absorbiendo los esfuerzos dinámicos y las vibraciones actuando como un sistema de amortiguación elástica entre el bloque y la base de concreto. Posteriormente al ensamble del bloque son adheridos con el concreto de la placa, integrando a su vez la bandeja. El material elastómero puede ser implementado in situ o en fabrica.



**Figura 10 Vía en Placa con Bloques embebidos.**

Fuente: Web Edilon)(Sedra

El Sistema de vía en placa con bloques embebidos se puede describir de la siguiente manera:

*Bloque de concreto*, formado por los siguientes componentes:

Un elemento de concreto armado, llamado bloque, que soporta directamente el riel, que quedará sujeto por medio del sistema de sujeción. El bloque descansa sobre el elastómero adherido a la bandeja, que también está hecha de concreto y es el elemento de soporte que queda sumergido en el concreto de la losa, formando un cuerpo con él. En el caso del bloque rígido, T, el bloque va directamente embebido en el concreto de la losa.

Losa de concreto en masa (concreto de calado o bateo), HM-20, con un espesor bajo bloque de  $20 \pm 2$  cm, sobre una superficie de concreto (solado) de limpieza con resistencia mínima de 12,5 MPa, haciendo la salvedad de que la resistencia del concreto es determinada a partir de la carga requerida por eje.

El elastómero, es el elemento que le confiere al conjunto las propiedades elásticas amortiguadoras que se buscan. Esta elasticidad puede graduarse de acuerdo con la flexibilidad que requiera la vía. El Metro de Madrid utiliza unos sistemas de bloques normalizados (bloque rígido, T; bloque normal, T60; bloque de elasticidad mejorada, T15; bloque con contracarril, normal y de elasticidad mejorada; y bloque excéntrico, Tex).

#### 6.1.5.2 VÍA EN PLACA CON TRAVIESAS EMBEBIDAS

Este sistema que de forma similar al anterior utiliza el concreto como elemento principal, se caracteriza por que las traviesas como su nombre lo indica quedan embebidas o fundidas dentro del concreto haciendo parte de la losa a partir de su formación con el acero de refuerzo. Uno de los fabricantes más especializados en este sistema es Redha.

Es un sistema que integra mantas reductoras de vibraciones por debajo de la losa de concreto. Con esto también se resalta que es diseñado para trazados de metro en todo recorrido sin importar las secciones de sensibilidad acústica.

Algunos de los elementos principales que lo conforman son:

- Losa de concreto armado HM-20 sobre la manta
- Losa de concreto que tendrá embebidas las traviesas con bloques.
- Traviesas prefabricadas con anterioridad en bloques de concreto de alrededor de 20 a 25 cm de espesor.
- Rieles apoyados en las traviesas con los bloques, sujetos con tipo Pandrol o Nabla.
- Manta atenuante de vibraciones y manta plástica de protección en el vertido de concreto.

Este sistema cuenta con una atenuación de vibraciones a través de la instalación de mantas bajo placa, esto hace que sea integral durante toda la extensión de la placa. Esa atenuación tendrá variaciones dependiendo de la localización, cambiando los espesores de mantas acorde a los niveles de exigencia de aislamiento en cada tramo.

- a) Para las necesidades altas de atenuación de vibraciones de rangos  $> 20$ dBv, los espesores de mantas a utilizar deben ser de 8cm.
- b) Para las necesidades medias de atenuación de vibraciones de rangos de 10 a 20 dBv, los espesores de mantas a utilizar deben ser de 5cm

- c) Para las necesidades bajas de atenuación de vibraciones de rangos  $< 10$  dBv, los espesores de mantas a utilizar deben ser de 3cm



**Figura 11 Vía en Placa con Traviesas Embebidas.**

Fuente: Web

Este sistema presenta las siguientes ventajas y desventajas:

#### 6.1.5.2.1 Ventajas

- El proceso de montaje e implementación es más rápido con posibilidades de corrección en los posicionamientos en el proceso constructivo y no únicamente en la sujeción del riel, esto debido a la posible mecanización del proceso de montaje que se puede integrar.
- La capacidad de atenuar vibraciones la hace una alternativa muy adecuada y atractiva para los entornos urbanos.
- Ante la posibilidad de que en diferentes tramos de vía se presentes diferentes necesidades de atenuación de vibraciones, es posible modificar el tipo de manta de un calibre a otro durante la instalación sin inconvenientes.
- Existe suficiente experiencia en el campo utilizándose más que todo en túneles.
- Durante la operación, los temas de mantenimiento están centrados mayoritariamente a la conservación de las sujeciones, midiendo su apriete.
- La instalación de mantas anti vibrado es rápidas y fáciles de trabajar incluyendo tramos curvos.

#### 6.1.5.2.2 Desventajas

- En tramos de intersección, la circulación de otros actores es dificultosa.
- Ante un posible daño que requiera un cambio de traviesa, es necesario entrar a reparaciones de corte, demolición y reemplazo de losa de concreto.

#### 6.1.5.3 **VÍA EN PLACA CON FIJACIÓN DIRECTA**

Esta vía es de tal forma que los rieles se apoyarán sobre la placa principal con una sujeción directa sin ningún tipo de intervención de traviesas o bloques. Para el contacto entre el concreto de la placa y el riel habrá una base con tornillos de anclaje en los costados, permitiendo que se puedan hacer ajustes de nivel de los rieles. Esta base está

compuesta de acero recubierta con material elástico para contribuir en la disminución de vibraciones.



**Figura 12 Vía en Placa con Sujeción Directa.**

Fuente: Web

Los componentes de la Sujeción Directa son los siguientes

- Placa de apoyo donde se ubicarán las bases metálicas.
- Placa base metálica con recubrimiento elástico.
- Aislantes para evitar contacto eléctricamente entre la losa de concreto y el riel.
- Pernos de anclaje de la base metálica a la losa de concreto, pueden ser dos o cuatro.
- Clips elásticos y vainas de sujeción para vía en concreto.

#### 6.1.5.3.1 Ventajas y desventajas de la Vía en Placa de Sujeción Directa

Este tipo de metodología de sujeción directa presenta las siguientes ventajas y desventajas:

##### 6.1.5.3.1.1 Ventajas

- Permite hacer correcciones posteriores a la instalación a partir de los sistemas de fijación con que cuenta.
- Pueden realizarse mantenimientos y reparaciones en su mayoría sin el desmonte total de la vía, ya que se cuenta con la base metálica intermedia entre el concreto y las fijaciones del riel.

- Pueden ajustarse las alturas hasta en 20 mm aprovechando la posibilidad de adicionar placas de ajuste de espesores diferentes en el punto de fijación.

#### 6.1.5.3.1.2 Desventajas

- No es muy transitable para los vehículos.
- Ante la evacuación de pasajeros se pueden presentar pequeñas dificultades.
- Es necesario hacer constantemente labores de mantenimiento y corrección de niveles.
- En caso de superar las tolerancias en la geometría y haber realizado las correcciones pertinentes, es necesario demoler y reconstruir posibles tramos.
- El grado de dificultad en la construcción es alto y requiere de mucha precisión y cuidado, para no cometer errores

#### 6.1.5.4 VÍA EN PLACA CON RIEL EMBEBIDO CON PRE-REVESTIMIENTO

Al tener el riel con un pre-revestimiento hace que haya un encapsulamiento total con perfiles elásticos continuos, fabricados previamente en material de caucho, moldeados a la geometría del riel y con ciertos parámetros específicos de rigidez. Al ser instalado en el concreto, satisface todas las necesidades de soporte de esfuerzo laterales y verticales, aportando también a la atenuación de vibraciones y al aislamiento eléctrico. Este es un sistema que cuenta con las bondades de poder ser instalado tanto en recta como en curva. Para los casos con curvas de radios muy bajos, es recomendable la utilización de elastómeros con menor rigidez, mayor elasticidad o en su defecto arriostrar los rieles.

Algunos componentes principales de vía con rieles embebidos son:

- Flejes fabricados en polipropileno y cinturones de cierre plástico o más conocidas como amarras plásticas, las cuales ayudan a la sujeción de perfiles y riel durante el curado.
- Epóxidos sellantes que garantizan la unión de los componentes de la vía.
- Rieles previamente encapsulados por perfiles de elastómero laterales y de base, con el objeto de garantizar la transferencia de cargas y la atenuación de ruido y vibraciones.
- Accesorios adicionales para la instalación.



**Figura 13 Vía en Placa con Riel Embebido.**

Fuente: Web

#### 6.1.5.4.1 Ventajas

- Los rendimientos en la implementación son bastante elevados. Una media estimada de rendimiento de 108 m/día, con un uso de pórtilos de nivelación cada tres metros en tramos rectos.
- Minimiza las actividades de mantenimiento debido que no se utilizan sujeciones mecánicas.
- Ayuda a incentivar la sostenibilidad con el uso de caucho reciclado granulado, en su mayoría de llantas en desuso.
- Gracias a los sistemas de apoyo elásticos continuos los niveles de vibración y ruido se disminuyen considerablemente. Estos sistemas de riel embebido presentan el mejor comportamiento ante vibraciones, superando aun así los de la vía en balasto.
- Mayor vida útil en los rieles ya que se disminuye la corrugación o desgaste ondulatorio.
- Reducción de espesores en las losas de concreto, ya que cuenta con el apoyo elástico continuo.
- Permite que haya circulación o transitabilidad elevada, con labores de mantenimiento seguras y posibles en evacuaciones

#### 6.1.5.4.2 Desventajas

- Al no tener ningún tipo de unión o arriostamiento entre rieles, puede que se presenten posibles diferencias de espaciamento de algunos milímetros desde el eje de la vía.
- Es necesario contar con equipos especiales para poder realizar el montaje.
- La precisión que se requiere para la ejecución es muy elevada ya que cualquier error geométrico conllevaría a demoliciones y reprocesos.

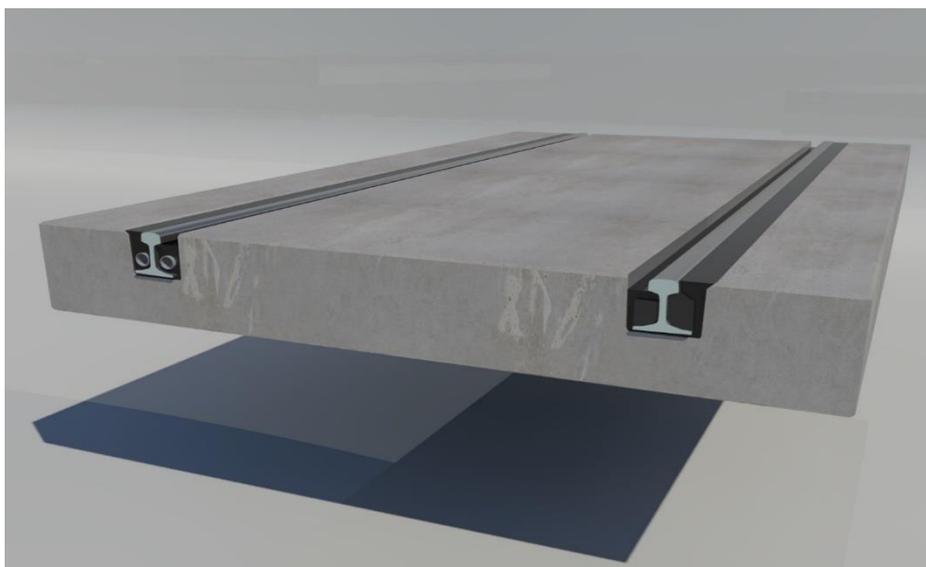
- Posibles infiltraciones de agua entre el enchaquetado elastómero y el concreto, generando presiones ante el paso de los vehículos; que pueden causar desgaste en el concreto o fisuraciones en la losa. Por esto es necesario un mantenimiento de inspección de juntas exhaustivo.
- Puede verse comprometido el aislamiento eléctrico en el caso de filtraciones de agua, esto si el caucho del enchaquetado posee problemas de estanqueidad siendo un material con volumen de poros considerable. Por esto es necesario un mantenimiento de inspección de juntas exhaustivo.

#### 6.1.5.5 VÍA EMBEBIDA EN MATERIAL ELASTÓMERO TIPO RESINA

Este sistema de vía en placa se caracteriza de manera similar al anterior, debido a la ausencia de arriostramientos o traviesas para la sujeción transversal de los rieles, siendo un sistema de superestructura continua en la cual se dejan las aberturas necesarias sobre la placa de concreto para la inserción de los rieles directamente, acompañado por la solución elastómera bituminosa que se vierte para su recubrimiento, lo que hace que la placa y el riel estén unidos por un material que brindará elasticidad y amortiguamiento al paso de los vehículos, teniendo en cuenta que los encabezados del riel estarán a nivel de la placa de concreto.

Los principales componentes de este sistema son:

- Rieles de las especificaciones y diseño requeridos para el proyecto.
- Losa de concreto con canales diseñados aptos para la inserción de los rieles (alto y ancho).
- Bloques de poliuretano que serán puestos entre los rieles y el concreto para disminución de material elastómero. También pueden ser utilizados tubos de PVC de rigidez media alta.
- Epóxido elastómero para recubrimiento del riel y unión con el concreto de losa, llevando en consideración las variables de atenuación del ruido.
- Herramientas especiales para arriostramiento y nivelación.



**Figura 14 Vía en Placa con Riel embebido con Elastómero tipo resina.**

Fuente: Web de Edilon)(Sedra

Por parte de la protección contra corrientes parasitas, el sistema de vertimiento epóxico elastómero es de excelente funcionalidad, consiguiendo unos niveles de aislamiento casi completos y garantizando el aislamiento para los sistemas de señalización.

### **Atenuación de vibraciones**

El material de recubrimiento elastómero permite un rendimiento alto al aislamiento del sistema contra vibraciones, la elasticidad del epóxico disipa la rigidez y permite alcanzar diferentes niveles como pueden ser:

- a) Atenuación de entre 10 y 20 dBv, se caracteriza la atenuación a la frecuencia 63 Hz de 18.5 y en el rango entre 50 y 80 Hz de 16, con una frecuencia propia de 20 Hz y una frecuencia de corte de 30Hz.
- b) Atenuación de entre 5 y 10 dBv, se caracteriza la atenuación a la frecuencia 63 Hz de 9 y en el rango entre 50 y 80 Hz de 9.1, con una frecuencia propia de 54 Hz y una frecuencia de corte de 75Hz.

#### 6.1.5.5.1 Ventajas

- Los rieles se encuentran a nivel de las losas de concreto, permitiendo el tránsito de cualquier actor de movilidad, convirtiéndolo en el sistema más accesible y transitable en caso de algún tipo de emergencia.
- Debido a su forma de ensamble se eliminan las flexiones y movimientos de los apoyos y las traviesas.
- Aumento en la seguridad de operación ya que al ser un sistema embebido el cual evitará que haya descarrilamientos ante eventual rotura de los rieles. El apoyo continuo actúa de tal modo que el riel conserve su forma y esté cerrado ante una eventual separación o rotura. Caso contrario a lo que sucede con las vías en balasto, dados y fijación directa.
- El epóxico elastómero contribuye en la impermeabilización, impidiendo el paso de líquidos y sustancias químicas que puedan deteriorar el sistema.
- Los costos de mantenimiento son bajos debido a que no se encuentran fijaciones de tipo mecánico afectando las funciones del riel.
- Una de sus principales ventajas es la disminución de los niveles de ruido y vibraciones en gran porcentaje debido al embebido del riel en la mezcla elastómera. Al ser un sistema continuo sin ningún tipo de traviesas y estando embebido hacen que la amplitud vibratoria disminuya considerablemente a términos de superación de la vía en balasto.
- Es muy adaptable a las vías urbanas dando la oportunidad de tener acabados de diferentes tipos (aglomerado, concreto, adoquín, grama natural o artificial, entre otros).

#### 6.1.5.5.2 Desventajas

- Los costos de implementación inicialmente son elevados debido a los precios de los epóxicos elastómeros. Tema que se ha venido tratando con el uso de tubos de PVC o bloques de poliuretano.

- Es necesaria una precisión alta en la implementación con verificaciones de nivel y forma en los canales, así evitar desperdicios y sobrecostos en la utilización de los elastómeros. Además, considerando que posterior al vertido del material, no es posible hacer ajustes de ningún tipo en los rieles.
- El uso de los epóxicos elastómeros debe ser en condiciones totalmente secas, debido a que en el contacto con el agua puede presentar pérdida de sus propiedades.
- Los procesos de reparación son de costos elevados y toman de un tiempo y espacio considerable.

#### 6.1.5.6 VÍA EMBEBIDA EN LOSA DE CONCRETO

Es un sistema de vía en placa con un apoyo discontinuo para el riel donde se da una alta rigidez ante esfuerzos verticales y a su vez una flexibilidad ante esfuerzos horizontales. En este sistema se utilizan traviesas prefabricadas de 22cm de espesor embebidas en la losa de concreto, con 10cm de recubrimiento y el resto es a determinación del acabado que considere darse.

En cuanto a los rieles, se encuentran apoyados sobre las traviesas y unidos mediante sujeciones tipo Nabla, Pandrol u otra. Los rieles se encuentran enchaquetados con juntas de espuma termoplástica y un revestimiento de acabado final que puede ser pavimento, aglomerados asfálticos, adoquines, césped, losetas, entre otros.

En cuanto a la utilización dependiendo de la geometría se tienen los siguientes rangos:

- Radio entre 25m y 100m, necesita una separación de 0.6m
- Radio entre 100m y 250m, necesita una separación de 0.75m
- Radio de 250m o mayor, necesita una separación de 1m

Por ser una vía que esta embebida en su mayoría por losas de concreto, presenta altas vibraciones y niveles de ruido que se transmiten a las edificaciones aledañas. Por esto para este sistema es necesario complementar con un sistema de atenuación vibratoria dependiendo del nivel de atenuación que se necesite en el tramo del corredor.

Dentro del sistema francés pueden identificarse dos diferentes sistemas de complemento:

- Sujeción tipo Nabla: alcanza niveles de atenuación de entre 5 y 10 dB.
- Sujeción tipo ASP: alcanza niveles de atenuación de entre 10 y 15 dB.

##### 6.1.5.6.1 Ventajas

- El proceso constructivo cuenta con un alto rendimiento debido a que puede ser realizado de manera mecánica con diferentes herramientas de montaje, además de la posibilidad de corregir la vía en alzado.
- El hecho de contar con traviesas transversales ayudará a conservar la geometría y paralelidad de la vía, dando un ancho preciso y constante.

- Se puede mejorar la atenuación de vibraciones sin necesidad de recurrir obligatoriamente a losa flotante y mantas de apoyo.
- Es un sistema que ha sido utilizado con éxito y cuenta con una experiencia de uso en diferentes partes además de contar con experiencias en implementación.

#### 6.1.5.6.2 Desventajas

- Tiene unos costos elevados de mantenimiento correctivo.
- La atenuación de vibraciones inicialmente no es muy óptima, puede mejorarse, pero en algunos casos de necesidad es imprescindible el uso de manta para llegar al nivel requerido de atenuación.

Cada una de las metodologías descritas anteriormente cuentan con diferencias tanto en lo constructivo, como en el mantenimiento, además de esto todas tienen capacidades diferentes de atenuación de vibraciones, por lo que es recomendable ante necesidades de atenuación alta el uso de mantas bajo la placa, que serán las soportantes y ayudarán a reducir en gran porcentaje el impacto de ruido y vibraciones sobre modificaciones aledañas.

Actualmente existe una multitud de sistemas de vía en placa. La mayor parte de dichos sistemas han sido desarrollados por la industria de la construcción, quien posee los derechos de propiedad industrial.

Si bien existen sustanciales diferencias de concepción y definición, las diferentes soluciones se han basado en unos mismos componentes básicos: carril, sujeción, traviesa o placa de hormigón, elastómero o mortero de unión, placa de base o suelo estabilizado, y explanada mejorada o plataforma.

Los elementos constitutivos esenciales del modelo de superestructura que representa la vía en placa son los siguientes:

- **Plataforma:** Es el elemento portante sobre el que descansa o se cimenta la superestructura. Por consiguiente, su naturaleza y sus características geotécnicas condicionan el diseño de los restantes elementos constitutivos de la misma. Generalmente está constituida por la subbase del terreno, una capa protectora de la subbase y la capa antihelada.
- **Solera:** Es el elemento sobre el que descansa la vía en placa propiamente dicha. La solera, que va inmediatamente encima de la plataforma, puede ser un suelo grava cemento o una solera de hormigón en masa o armado. En caso de emplearse un suelo grava cemento, su espesor mínimo es de 30 cm y vuela a ambos lados de la placa soporte sobre ella colocada.
- **Placa soporte:** Es la capa de hormigón armado o asfalto sobre la que descansan los carriles y las traviesas.
- **Fijación del carril:** El sistema de fijación del carril ha de estar diseñado según el modelo de placa.
- **Soldadura en barra larga:** Las normas y tolerancias vigentes para la vía tradicional también se aplican para la vía en placa.
- **Elementos adicionales:** Dichos elementos están destinados al aislamiento acústico, con la finalidad de reducir la sonoridad a la sonoridad de una vía asentada sobre balasto (en general la reducción necesaria es de unos 5 dB).

### 6.1.6 SISTEMAS DE VÍA EN PLACA EXISTENTES EN EL MERCADO

Hasta este punto, se ha estudiado cada uno de los tipos de vía en placa de forma individual y se han definido sus ventajas y desventajas de forma genérica en los sistemas de vía en placa, haciendo referencia a cada uno de los modelos con el fin de intentar evaluarlos cualitativamente.

El siguiente paso para poder tener un conocimiento profundo sobre el comportamiento de cada modelo de vía en placa, valorando y comparando así su fiabilidad, que consistirá en contrastar los comportamientos que varios sistemas ofrecen bajo las mismas condiciones de estudio presentadas.

Con este criterio, la evolución natural de la tecnología de vía en placa, nos ha dejado un sinnúmero de pruebas y ensayos que muestran de una forma más clara las ventajas e inconvenientes de un tipo de vía en placa sobre otros, avalando así un mejor comportamiento ante unas mismas condiciones de funcionamiento.

Cabe destacar que existe cierto nivel de confidencialidad al respecto de los resultados de fiabilidad de los diferentes ensayos sobre tipologías de vía en placa que se llevan a cabo a nivel internacional. Esto es debido, posiblemente, al intento de mantener restringido el acceso a una información relativamente nueva y potencialmente explotable en términos de nuevas patentes.

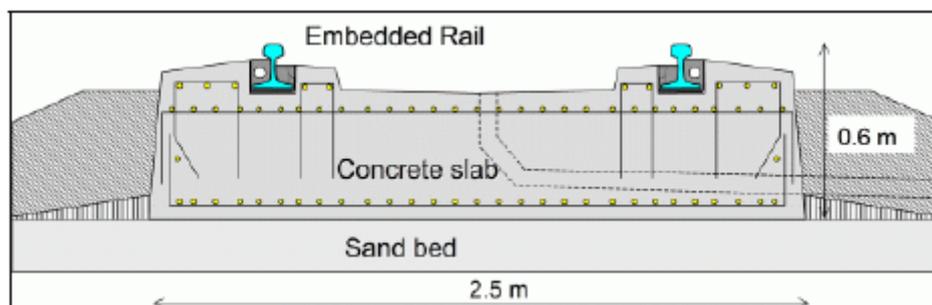
Los modelos o sistemas de vía en placa encontrados con mayores definiciones son:

- Edilón,
- Rheda Dyxidag,
- Rheda 2000,
- Stedef,
- Getrac y
- ATD.

ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

#### 6.1.6.1 SISTEMA EDILON CON CARRIL EMBEBIDO

El sistema EDILON con carril embebido se caracteriza por la sujeción continua de los carriles mediante un elastómero confinado en una canaleta de hormigón.



**Figura 15 Sistema EDILON con carril embebido.**

Fuente: Web

El sistema EDILON con carril embebido presenta las siguientes características:

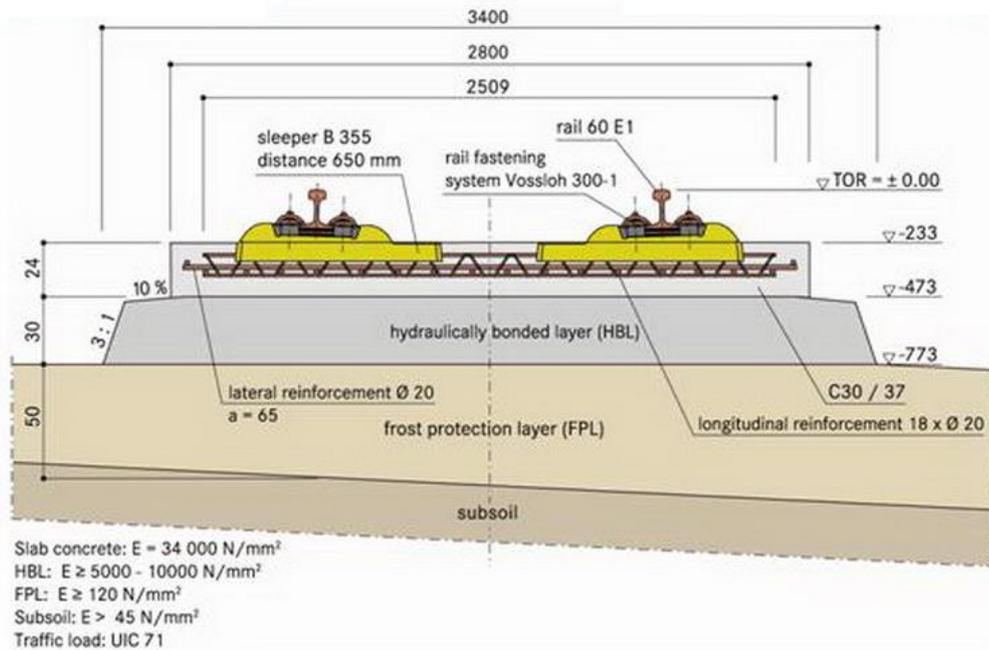
- Reducción del espesor de la superestructura desde la base de la placa a la cabeza de carril, permitiendo una reducción apreciable del diámetro de perforación de los túneles, de la profundidad de excavación en soterramientos y de los cantos de los tableros de las obras de paso ferroviarias.
- Reducción en los niveles de ruido y vibraciones, que en ocasiones pueden alcanzar 10 o más decibeles.
- Reducción de los niveles de ruido, vibraciones del suelo y polución durante la fase de instalación.
- Elevado coste del elastómero Edilon Corkelast.
- Necesidad de maquinaria especial para su instalación.
- Exigencia de una gran precisión en la construcción de la placa y las acanaladuras.
- Difícil o prácticamente imposible corrección de los errores de alineación y nivelación una vez se ha construido el sistema.
- Discontinuidad en el sistema constructivo en desvíos y cruces, al pasarse de un sistema mecanizado a otro manual.

#### **6.1.6.2 SISTEMAS CON UN NIVEL ELÁSTICO CON APOYO DISCRETO Y PLACA CONTINUO. SISTEMA RHEDA 2000**

La familia de sistemas Rheda cuenta con varios modelos, entre los que cabe destacar el Rheda Dywidag, el Rheda 2000, el Rheda City y el Rheda MRT.

El modelo Rheda Dywidag uno de los sistemas de vía en placa más antiguos. Consiste fundamentalmente en el empotramiento de las traviesas monobloque dentro de una losa de hormigón armado, que a su vez viene confinada dentro de una artesa soporte.

El modelo Rheda 2000 está constituido por una sola losa de hormigón en la que están empotradas las traviesas bi-bloque, de modo que se elimina la junta entre hormigón de calado de losa y hormigón de artesa existente en sistemas Rheda previos (que a medio plazo derivan en grietas y problemas de durabilidad) y se disminuye la altura de construcción.

**RHEDA 2000®**

**Figura 16 Modelo Rheda 2000.**

Fuente: Web RHEDA

Estos modelos Rheda se aplican a la alta velocidad ferroviaria y al servicio interurbano, como en tranvías, cercanías y Metro.

El modelo Rheda 2000 requiere las siguientes acciones: el tendido de la armadura longitudinal, el posicionado de las traviesas, la colocación de armaduras transversales entre traviesas, la colocación del sistema de sujeción y los carriles, la ejecución de todas las soldaduras, y por último la nivelación y alineación y hormigonado de la placa dejando embebidas parte de las traviesas.

En lo que a costes de inversión se refiere, el sistema Rheda 2000 presenta las siguientes características:

- Elevado rendimiento en la producción debido a un alto grado de mecanización, si bien la introducción de la armadura que pasa a través de traviesas y hormigón (Rheda 2000) debe ser hecha manualmente.
- Fácil construcción de los desvíos, al ejecutarse éstos con traviesas estándar.
- Discontinuidad del proceso constructivo en desvíos, al ejecutarse éstos con traviesas estándar.
- Difícil introducción de elementos de absorción de ruido en los espacios entre traviesas
- Necesidad de maquinaria especial para la construcción de algunas partes del sistema

### 6.1.6.3 SISTEMA ZÜBLIN

El principio constructivo del modelo Züblin es similar al Rheda (parrilla de vía empotrada en placa de hormigón). Sin embargo, aquí el hormigón no se introduce entre y bajo las traviesas de una parrilla de vía exactamente tendida, sino que las traviesas se empotran en el hormigón fresco de una placa hecha "in situ". Por medio de un equipo de trabajo, especialmente diseñado para ello, las traviesas de hormigón se introducen a presión y vibrando en el hormigón fresco, se pueden ajustar correcciones en altura hasta una cifra del orden de 50 mm. Entre traviesas queda espacio suficiente para colocar un elemento que absorba el ruido.

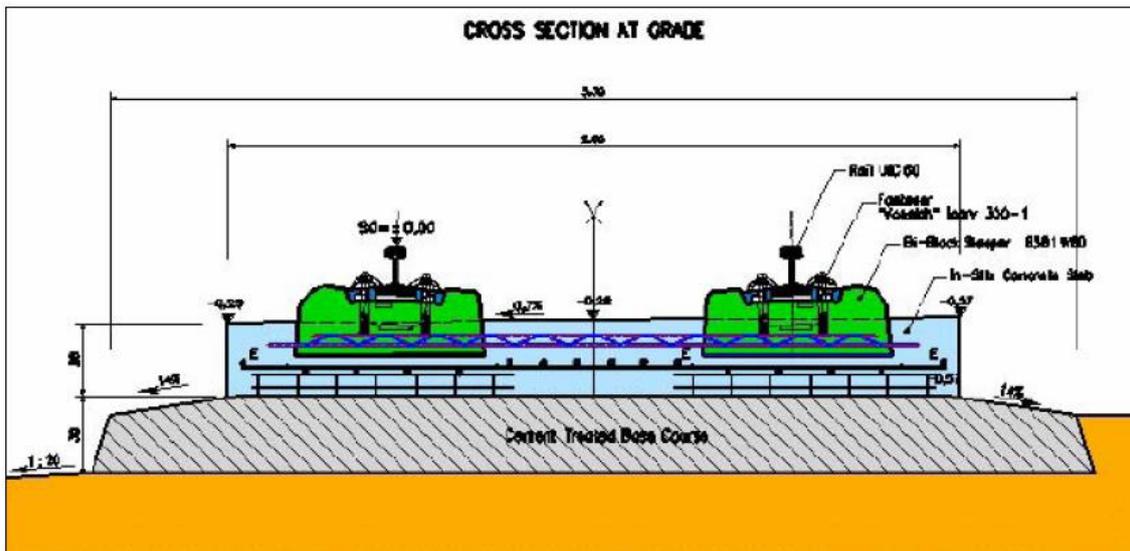


Figura 17 Modelo Züblin.

Instituto de Desarrollo Urbano

Fuente: Web

En lo que a costes de inversión se refiere, el sistema Züblin presenta las siguientes características:

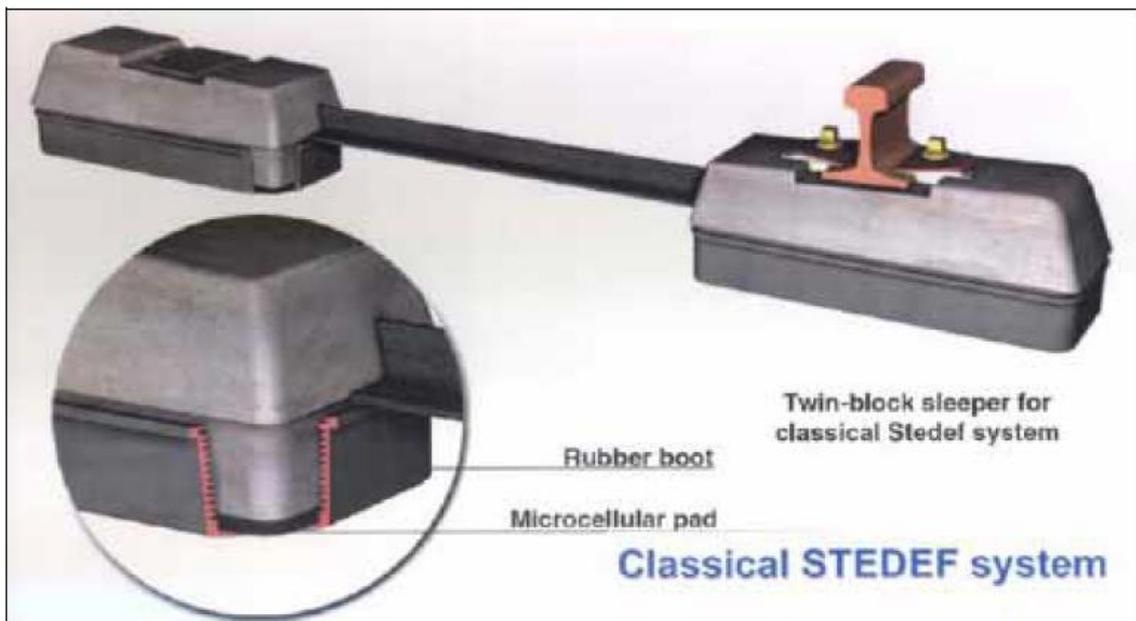
- Elevado rendimiento en la producción debido a la mecanización total de las operaciones de montaje
- La ejecución de este sistema de vía solamente posible con un equipo especialmente diseñado
- Dificultades técnicas a la hora de embutir las traviesas en curvas con peralte igual o mayor a 150mm
- Necesidad de una capa de protección de la subbase de 25mm frente a inviernos.

#### 6.1.6.4 SISTEMA STEDEF

En el sistema de vía en placa Stedef, las traviesas bloque de hormigón armado U-41 GV se colocan dentro de una artesa de hormigón armado. El espacio entre esta artesa y la traviesa se rellena posteriormente con un hormigón en masa (HM-35) cubriendo los bloques de la traviesa. Estas traviesas bloque tienen en la parte inferior de cada uno de los bloques un colchón microcelular de caucho cuya principal función es proporcionar elasticidad vertical al sistema. Debido al colchón microcelular y a la placa de asiento de

la sujeción Nabla, el sistema se comporta según un esquema de doble plano de elasticidad separado por una masa intermedia.

El sistema Stedef es el modelo de mayor altura de construcción, con 855 mm desde cota cabeza carril hasta cota inferior de artesa.



**Figura 18 Modelo Stedef.**

Fuente: Web

El proceso asociado a este modelo implica construir una solera de hormigón sobre la que se dispone la armadura y las traviesas, después se colocan los carriles, se alinean y nivelan y por último se procede al vertido de hormigón.

En lo que a costes de inversión se refiere, el sistema Stedef presenta las siguientes características:

- Debe emplearse una base tratada con cemento o formada por hormigón magro para evitar la erosión del agua.
- Requiere un mortero de relleno distinto para cada caso de utilización.
- Montaje de los elementos de la vía sencillo.
- Las variaciones térmicas complican el montaje.
- Limita vibraciones al entorno.
- Cadencia de instalación diaria limitada
- Las sujeciones reglables que emplea este sistema tienen un precio elevado.

### 6.1.7 MATRIZ MULTICRITERIO

El análisis Multicriterio, permitirá la evaluación de cada una de las alternativas tecnológicas, ponderando los diferentes criterios a tener en cuenta en la toma de decisiones referentes a opciones de múltiples alternativas, esta matriz nos entregará

como resultado una guía para saber cuál es la mejor decisión al momento de elegir la tecnología más adecuada para implementar. En este caso el objeto de este análisis es seleccionar el tipo de Sistema de Vía en Placa más ideal para el Corredor Férreo del Sur.

Para la inclusión de los criterios a considerar en la Matriz fueron tomados en cuenta diferentes factores influyentes en la toma de decisiones para el Sistema de vía en placa a emplear, entre estos se tienen seis tipos presentados en el apartado 7.5 Tipos de Vía en Placa. Entre los diferentes factores o criterios se tienen:

- Técnicos
  - Durabilidad: se considera la vida útil o años de funcionalidad de la vía antes de su reposición, obteniendo diferentes resultados según el tipo de vía.
  - Periodicidad del mantenimiento: se toman en cuenta factores de mantenimiento como la frecuencia y la dificultad del mantenimiento preventivo.
  - Minimización en la afección sonora durante la construcción y la explotación: es relacionado con el impacto que genera sobre la población en los procesos tanto constructivos como de uso del sistema de transporte.
  - Nivel de atenuación de vibraciones: es la capacidad de cada sistema para reducir los niveles de vibraciones sobre sus alrededores según el tipo de construcción y métodos utilizados para la absorción de vibraciones.
  - Rigidez de la sujeción: los niveles de rigidez que se tienen a partir del sistema de sujeción, impactando finalmente en la fijación de la vía y la conservación de la geometría paralela.
  - Posibilidad de drenaje hídrico: va de acuerdo con la capacidad que tiene el sistema para dar evacuación a las corrientes hídricas que se presenten.
  - Dificultad de reparación: cuando un tramo de vía cumple su vida útil o debe ser corregido, hay un nivel de impacto en esa reparación, debido a que en algunos casos se deban hacer demoliciones y hasta cierres del servicio.
  - Posibilidad de circulación de actores viales: entre todos los sistemas hay algunos que permiten la circulación o el cruce de otros actores viales (peatones, vehículos, ciclistas) más fácilmente respecto a otros. Además de esto en caso de algún tipo de emergencia algunos sistemas permiten la evacuación más fácil y rápida.
  - Tolerancia en la construcción: los sistemas cuentan con diferentes complejidades, por esto algunos requieren de mayor precisión en la construcción ya que ante eventuales errores, las reparaciones son extremadamente difíciles de llevar a cabo.
  - Aislamiento eléctrico: es necesario contar con un buen aislamiento para minimizar las corrientes parasitas y así evitar los riesgos en infraestructura física del entorno del sistema ferroviario. Algunas vías favorecen más que otras el aislamiento.
  - Máxima disponibilidad de las infraestructuras: algunos sistemas pueden ser más complejos de adquirir y llegar a acuerdos.
  - Tiempos de ejecución: es de entender que, ante los diferentes sistemas, se presentan diferentes complejidades que a su vez darán como resultado un mayor tiempo de construcción.
  - Facilidad de implementación: se refiere a ese nivel de dificultad para la construcción adecuada del sistema.

- Limpieza en implementación: como en todas las construcciones suele haber un impacto estético, invasivo y de algún modo de eficacia a partir del orden de realización, cada sistema impacta de manera diferente.
- Costos
  - Costos de implementación: es relacionado a los costos de inversión para llevar a cabo el proyecto con uno u otro sistema de vía en placa.
  - Costos de reparación: se relaciona con los costos de tener que hacer algún reemplazo de la vía, pues ya el mantenimiento no pudo contener un daño total.
  - Costos de mantenimiento: es relacionado al costo del sostenimiento del sistema en óptimas condiciones para su operabilidad.
- Sociales
  - Calidad y confort: va relacionado a la sensación producida a los usuarios, partiendo del ruido y las vibraciones.
  - Imagen proyectada de modernidad: es un criterio ligado a lo que se percibe de la superestructura planteada respecto a los avances tecnológicos existentes.
  - Armonía y contexto urbano con el entorno: va ligado lo que tiene que ver con el acabado de la vía y el entorno donde se localiza, considerando un entorno urbano amigable y agradable.
- Riesgos
  - Riesgo de accidentes: es un criterio importante al momento de decidir sobre una superestructura debido a la seguridad de la obra y accesibilidad al sistema en casos de necesidad de evacuación.
  - Riesgos de suspensión del servicio por mantenimientos: cuando los mantenimientos son muy exhaustivos o es necesario detener el servicio por un posible deterioro.
- Ambiente
  - Contaminación y tratamiento de residuos: toma en cuenta la producción de residuos entre un sistema u otro, además del posible aprovechamiento o disposición de estos.
  - Impacto visual: va muy ligado a los temas que tienen que ver con el entorno y el diseño, que tiene que ver con el ambiente donde se ubique y el reflejo que a de ser una superestructura confiable.

MATRIZ MULTICRITERIO DEL TIPO DE VÍA EN PLACA

MATRIZ MULTICRITERIO DEL TIPO DE VÍA EN PLACA															
				PUNTUACIÓN: Mas Alto: 10, Mas Bajo:1						PUNTUACIÓN PONDERADA					
FACTOR	CRITERIO	PONDERACIÓN	%	Alternativa 1 Vía sobre bloques elásticos	Alternativa 2 Vía con traviesas embebidas	Alternativa 3 Vía con fijación directa	Alternativa 4 Vía con riel embebido prerrevestido	Alternativa 5 Vía embebida con material elastómero	Alternativa 6 Vía embebida en losa de concreto	A1	A2	A3	A4	A5	A6
TECNICO	Durabilidad	25%	15%	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5
	Frecuencia de mantenimiento		12%	8.00	7.00	9.50	9.00	8.00	9.00	0.96	0.84	1.14	1.08	0.96	1.08
	Reparación		10%	5.00	8.00	5.00	2.00	2.00	1.00	0.5	0.8	0.5	0.2	0.2	0.1
	Transmisión de vibraciones		9%	8.00	7.00	5.00	4.00	4.00	2.00	0.72	0.63	0.45	0.36	0.36	0.18
	Rigidez		6%	3.00	4.00	3.00	5.00	2.00	1.00	0.18	0.24	0.18	0.3	0.12	0.06
	Drenaje		5%	4.00	4.00	4.00	2.00	2.00	2.00	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	Paso de vehículos		5%	3.00	3.00	3.00	8.00	8.00	9.00	0.15	0.15	0.15	0.4	0.4	0.45
	Paso de Peatones		6%	3.00	3.00	3.00	8.00	8.00	9.00	0.18	0.18	0.18	0.48	0.48	0.54
	Aislamiento eléctrico		7%	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
	Disponibilidad en el Mercado actual		4%	10.00	10.00	10.00	6.00	8.00	8.00	0.4	0.4	0.4	0.24	0.32	0.32
	Facilidad Implementación		8%	8.00	8.00	6.00	5.00	4.00	3.00	0.64	0.64	0.48	0.4	0.32	0.24
	Tiempo de construcción		7%	9.00	8.00	7.00	3.00	2.00	2.00	0.63	0.56	0.49	0.21	0.14	0.14
Estética y eficacia	6%	5.00	5.00	7.00	6.00	6.00	6.00	0.3	0.3	0.42	0.36	0.36	0.36		
COSTOS	Implementación - CAPEX	25%	40%	7.00	7.00	8.00	3.00	4.00	2.00	2.8	2.8	3.2	1.2	1.6	0.8
	Reparación - Reposición		25%	8.00	8.00	5.00	3.00	1.00	1.00	2	2	1.25	0.75	0.25	0.25
	Operación y mantenimiento - OPEX		35%	6.00	7.00	9.00	8.00	8.00	8.00	2.1	2.45	3.15	2.8	2.8	2.8

MATRIZ MULTICRITERIO DEL TIPO DE VÍA EN PLACA															
				PUNTUACIÓN: Mas Alto: 10, Mas Bajo:1						PUNTUACIÓN PONDERADA					
FACTOR	CRITERIO	PONDERACIÓN	%	Alternativa 1 Vía sobre bloques elásticos	Alternativa 2 Vía con traviesas embebidas	Alternativa 3 Vía con fijación directa	Alternativa 4 Vía con riel embebido prerrevestido	Alternativa 5 Vía embebida con material elastómero	Alternativa 6 Vía embebida en losa de concreto	A1	A2	A3	A4	A5	A6
SOCIAL	Confort en marcha	15%	40%	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
	Imagen proyectada		40%	10.00	10.00	10.00	9.00	9.00	9.00	4	4	4	3.6	3.6	3.6
	Contexto urbano		20%	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
RIESGOS	Riesgo de descarrilamiento	25%	45%	9.00	9.00	9.00	9.00	8.00	7.00	4.05	4.05	4.05	4.05	3.6	3.15
	Operación y mantenimiento		25%	8.00	8.00	8.00	8.00	6.00	6.00	2	2	2	2	1.5	1.5
	Riesgo sísmico		15%	6.00	6.00	6.00	4.00	4.00	3.00	0.9	0.9	0.9	0.6	0.6	0.45
	Desgaste acelerado de riel		15%	8.00	8.00	8.00	7.00	7.00	6.00	1.2	1.2	1.2	1.05	1.05	0.9
AMBIENTE	Contaminación	10%	60%	4.00	3.00	4.00	1.00	1.00	1.00	2.4	1.8	2.4	0.6	0.6	0.6
	Impacto visual		40%	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
<b>Puntuación Total</b>										7.17	7.21	7.27	6.13	5.78	5.34

**Tabla 1 Matriz Multicriterio.**  
ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

Cada uno de los valores incluidos en la matriz multicriterio para la selección de la mejor alternativa de vía en placa para el Corredor Férreo del Sur, ha sido seleccionado con el enfoque en la experiencia y el conocimiento de varios profesionales destacados en el sector ferroviario con más de 15 años de experiencia.

Es importante tener en cuenta que cada uno de estos profesionales tiene una perspectiva similar sobre los criterios y los indicadores de medida que se utilizaron para evaluar las diferentes alternativas de vía en placa y cada uno de los indicadores presentados. Por lo tanto, su experiencia y conocimiento del sector ayudan a garantizar que los criterios y los indicadores sean relevantes y apropiados para el proyecto.

Esto permitió una evaluación sistemática y objetiva de las alternativas de vía en placa garantizando que las decisiones se basen en hechos y no en suposiciones.

Teniendo en cuenta los análisis técnicos y los criterios de evaluación establecidos, se ha seleccionado la tecnología de VÍA EN PLACA CON FIJACIÓN DIRECTA como la más adecuada para la construcción del Corredor Férreo del Sur en la Línea Principal. La selección de esta tecnología se ha basado en una evaluación exhaustiva de sus ventajas y desventajas y en base a cada uno de los indicadores de la matriz.

Esta tecnología se caracteriza por la fijación directa de los rieles a una placa de acero y de hormigón, lo que proporciona una mayor estabilidad y durabilidad en comparación con otras tecnologías de vía. Además, esta tecnología ofrece una mayor capacidad de carga y resistencia a la fatiga, lo que la hace especialmente adecuada para su uso en líneas principales con un alto volumen de tráfico.

Sin embargo, también es importante tener en cuenta las desventajas de esta tecnología, que incluyen una mayor dificultad en el mantenimiento y la sustitución de los rieles, así como una mayor rigidez en la vía, lo que puede aumentar los niveles de vibración y ruido. A pesar de estas desventajas, se ha determinado que los beneficios superan las limitaciones, por lo que se ha seleccionado la tecnología de vía en placa con fijación directa como la más adecuada para el Corredor Férreo del Sur.

Cabe destacar que la selección de la tecnología de vía en placa con fijación directa para el Corredor Férreo del Sur tiene un beneficio adicional, en el sentido de que la Línea 2 del Metro de Bogotá también implementará esta tecnología en su superestructura de la línea principal. Este hecho puede favorecer la interoperabilidad entre los sistemas, lo que puede aumentar la eficiencia en el transporte de pasajeros y la integración del sistema de transporte en la región.

### **6.1.8 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA A NIVEL DE PREDISEÑO**

Es fundamental considerar una serie de factores en el prediseño del concreto de vía que se utilizará para la construcción de las vigas y losas armadas. Además de las características estructurales del resto de componentes de la vía, también es importante tener en cuenta las condiciones climáticas y la metodología seleccionada para la colocación del concreto de la vía. Estos factores pueden influir en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, así como en su durabilidad y resistencia a largo plazo.

Es importante destacar que el concreto de vía utilizado en todas las secciones de vía, debe tener las mismas características estructurales, con la única excepción de las clases de exposición, tal como se establece en la norma ACI 318S-14. Esto asegurará una consistencia en la calidad y las propiedades del concreto en toda la losa del sistema de vía.

El código de construcción ACI 318S-14 establece los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de estructuras de concreto en todo el mundo. Con relación al diseño del concreto de vía, la norma establece los requisitos mínimos para la resistencia a la compresión del concreto. En particular, establece lo siguiente:

"La resistencia especificada a la compresión del concreto,  $f'_c$  (resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa) no será inferior a 20 MPa, excepto que, para elementos premoldeados o prefabricados, la resistencia especificada a la compresión no será inferior a 35 MPa. En ningún caso se permitirá que  $f'_c$  sea menor que la resistencia requerida para cumplir con los requisitos de durabilidad".

En este sentido, la norma ACI 318S-14 establece una resistencia mínima a la compresión del concreto de 20 MPa para estructuras de concreto en general, y de 35 MPa para elementos premoldeados o prefabricados. Estos valores son consistentes con el requisito mínimo de resistencia a la compresión de 35 MPa para el concreto de vía utilizado en todas las diferentes secciones de vía, tal como se recomienda para el Corredor Férreo del Sur.

Además, es crucial que el concreto de vía utilizado en todas las secciones de vía tenga una resistencia mínima especificada a la compresión de al menos 35 MPa a los 28 días de fraguado. Esta resistencia mínima garantizará que el concreto pueda soportar las cargas y esfuerzos esperados y proporcionará una estructura segura y resistente a largo plazo.

Con el fin de evitar la infiltración de agua en el concreto de vía y favorecer su drenaje, es esencial que las superficies aparentes del concreto estén libres de porosidades y nidos de piedras. Es responsabilidad del constructor demostrar la durabilidad del concreto en relación con los fenómenos de reacción entre los álcalis del hormigón y los áridos que contienen sílice reactiva, de acuerdo con lo establecido en la norma ACI 318S-14.

El constructor deberá proporcionar todos los medios necesarios específicos para la aplicación del concreto, y la aplicación en sí debe realizarse preferentemente en condiciones secas. Si esto no es posible, se deben tomar todas las medidas adecuadas para proteger el área de trabajo de las inclemencias del tiempo.

#### **6.1.8.1 Selección del Tipo de Riel**

Para seleccionar el tipo de riel más adecuado para esta vía, es importante considerar varios factores, como la carga que soportará la vía (485 Tn/tren), la velocidad de circulación (80 km/h), la geometría del trazado (ver documento de Diseño Geométrico Férreo) la frecuencia de mantenimiento, entre otros. En general, la mayoría de las vías de placa suelen utilizar rieles de perfil bajo (LB) o rieles Vignoles, que son capaces de soportar cargas elevadas y proporcionan una buena estabilidad a la vía.

El peso total estimado del Material Rodante es de 350 toneladas, y si no hay carga adicional, ese sería el peso total del tren.

Para calcular el peso por eje, se necesita conocer el número de ejes totales del tren. Como cada vagón está soportado por 2 bogíes y cada bogíe tiene 2 ejes, entonces el número total de ejes sería:

$$7 \text{ vagones} \times 2 \text{ bogíes/vagón} \times 2 \text{ ejes/bogíe} = 28 \text{ ejes}$$

Entonces, el peso por eje sería:

$$350 \text{ toneladas} / 28 \text{ ejes} = 12.5 \text{ toneladas/eje}$$

En general, la carga máxima por eje permitida en líneas ferroviarias de tipo Metro, suele ser de alrededor de 17 a 25 toneladas por eje. Si se asume una carga máxima por eje de 20 toneladas, es posible hacer una estimación del peso total del tren con carga máxima.

Ahora bien, se extrae el dato de la capacidad máxima de pasajeros en un tren, del apartado 8. Propuesta de Tipología del Material Rodante, que son 1800 pasajeros por tren. Se supone un peso promedio de 75 kg por cada pasajero. Entonces, el peso de los pasajeros sería:

$$1800 \text{ pasajeros} \times 75 \text{ kg/pasajero} = 135 \text{ toneladas}$$

Al sumar el peso de los vagones (350 toneladas) y el peso de los pasajeros (135 toneladas), se obtiene el peso total del tren con carga máxima:

$$350 \text{ toneladas} + 135 \text{ toneladas} = 485 \text{ toneladas}$$

Al dividir este peso total por el número de ejes del tren (28 ejes), se obtiene el peso por eje con carga máxima:

$$485 \text{ toneladas} / 28 \text{ ejes} = 17.3 \text{ toneladas/eje.}$$

Según estos resultados se presentan las características más importantes de los rieles Vignole para una selección óptima.

Los rieles de Vignole son especialmente adecuados para vías en placa con fijación directa en sistemas tipo Metro, ya que proporcionan una mayor superficie de contacto con la placa y tienen una resistencia apropiada a la flexión y a la fatiga, proporcionan también una buena estabilidad lateral y pueden absorber los esfuerzos de torsión producidos por los trenes.

Las características principales del riel Vignole incluyen:

**Gran capacidad de absorción de esfuerzos:** El diseño del riel Vignole permite una mayor absorción de los esfuerzos producidos por los trenes en comparación con otros tipos de rieles, gracias a su mayor estabilidad lateral y capacidad para absorber los esfuerzos de torsión.

**Buena estabilidad lateral:** El riel Vignole es capaz de proporcionar una buena estabilidad lateral a la vía, lo que ayuda a prevenir el descarrilamiento de los trenes y garantiza una circulación segura.

**Mayor durabilidad:** Debido a su diseño y características de absorción de esfuerzos, el riel Vignole tiene una mayor durabilidad y resistencia a la fatiga en comparación con otros tipos de rieles.

**Facilidad de fabricación y mantenimiento:** El riel Vignole es fácil de fabricar y mantener, lo que lo convierte en una opción rentable y práctica para la construcción y operación de vías férreas.

Como se ha mencionado anteriormente, la selección del tipo de riel Vignole compatible con el proyecto dependerá de las especificaciones de este, como la carga de los trenes, la velocidad de circulación y la normativa aplicable. Sin embargo, a continuación, se presentan algunos tipos comunes de rieles Vignole que se utilizan actualmente:

- Riel Vignole 60R2: Este riel Vignole tiene una altura de 152 mm y un peso por metro lineal de 60,21 kg/m. Se utiliza comúnmente en vías con cargas de hasta 30 toneladas por eje y velocidades de hasta 250 km/h.
- Riel Vignole 54E1: Este riel Vignole tiene una altura de 141,5 mm y un peso por metro lineal de 54,43 kg/m. Se utiliza en vías con cargas de hasta 25 toneladas por eje y velocidades de hasta 200 km/h.
- Riel Vignole 49E1: Este riel Vignole tiene una altura de 136,5 mm y un peso por metro lineal de 49,39 kg/m. Se utiliza en vías con cargas de hasta 22,5 toneladas por eje y velocidades de hasta 160 km/h.
- Riel Vignole 46E1: Este riel Vignole tiene una altura de 132 mm y un peso por metro lineal de 46,10 kg/m. Se utiliza en vías con cargas de hasta 20 toneladas por eje y velocidades de hasta 120 km/h.

Para el Corredor Férreo del Sur se ha seleccionado el uso del Riel Vignole 54E1. La selección de este tipo de riel puede tener varias razones, y una de ellas es la compatibilidad con la Línea 2 del Metro de Bogotá, que ha seleccionado este tipo de riel. Esta compatibilidad puede ofrecer ventajas en términos de mantenimiento y logística, ya que las mismas experiencias, herramientas y técnicas pueden utilizarse para ambos proyectos.

El riel Vignole 54E1 está diseñado para soportar cargas pesadas y es compatible con el peso por eje de 17,3 toneladas que se calculó en el escenario anterior con la carga máxima planteada. Este tipo de riel es ampliamente utilizado en líneas ferroviarias de alta frecuencia y puede soportar cargas por eje de hasta 25 toneladas, por lo que el peso por eje de 17,3 toneladas se encuentra dentro de su rango de capacidad.

Además, el Riel Vignole 54E1 es un tipo de riel comúnmente utilizado en vías de tránsito frecuente y pesado y alta velocidad, tiene una altura de 141,5 mm y un peso por metro lineal de 54,43 kg/m. Esto lo hace adecuado para cargas de hasta 25 toneladas por eje y velocidades de hasta 200 km/h.

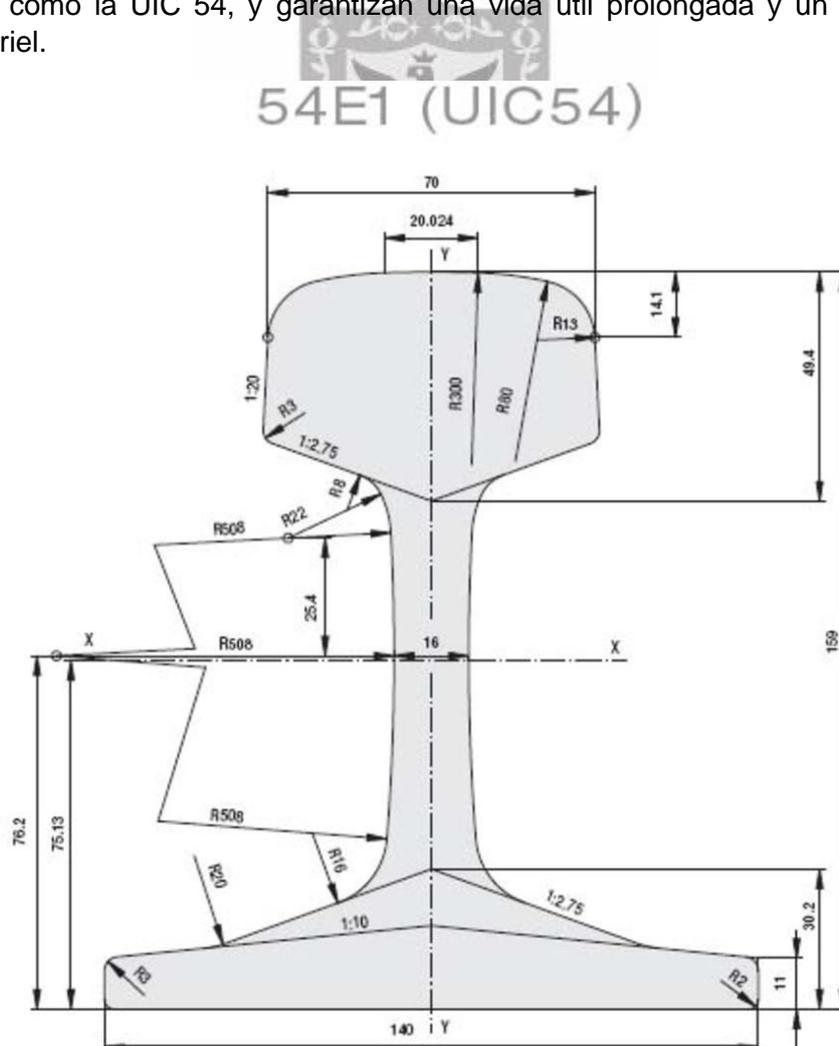
Otra razón para seleccionar este tipo de riel puede ser su disponibilidad en el mercado local actualmente y su precio, que son factores importantes en la toma de esta decisión.

A continuación, se describen algunas de las características del riel seleccionado:

**Longitud:** El Riel Vignole 54E1 se produce en longitudes estándar entre 12,5 y 18 metros. Esta longitud es adecuada para la mayoría de las aplicaciones ferroviarias y permite una instalación eficiente de la vía.

**Sección transversal:** El Riel Vignole 54E1 tiene una sección transversal en forma de I invertida. La altura del riel es de 141,5 mm y la base tiene una longitud de 152 mm. La anchura de la brida es de 70 mm y el espesor de la cabeza es de 29 mm. Estas dimensiones son estándar para los rieles Vignole 54E1 y permiten una compatibilidad con otros componentes de la vía, como las fijaciones y los durmientes.

**Grado de acero:** El Riel Vignole 54E1 está fabricado con acero de alta resistencia y durabilidad. El grado de acero utilizado puede variar según el fabricante y las especificaciones del proyecto, pero generalmente se utiliza acero de grado R260 o R350. Estos grados de acero cumplen con las normas internacionales de calidad y resistencia como la UIC 54, y garantizan una vida útil prolongada y un rendimiento óptimo del riel.



**Figura 19 Perfil del riel Vignole 54E1**

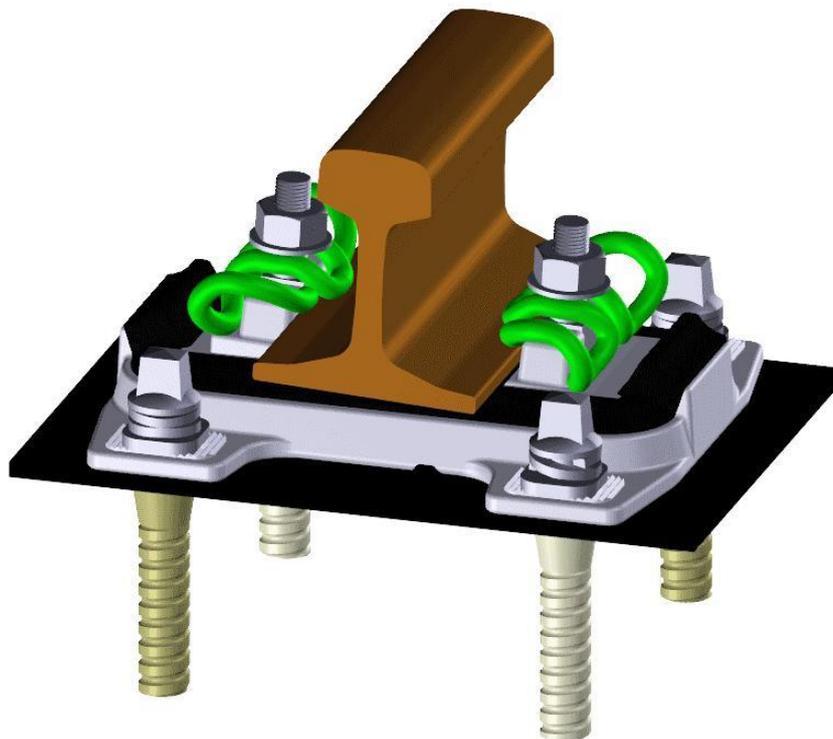
Fuente: Web

### 6.1.8.2 Selección del Tipo Fijación

El sistema de fijación por clip es uno de los sistemas de fijación directa más utilizados en líneas ferroviarias con vía en placa. Este sistema se compone de un clip de sujeción que se fija al riel mediante una placa de sujeción y que se encarga de mantener la posición y estabilidad del riel en la vía. La silla, por su parte, se fija a la estructura mediante tornillos y tacos de anclaje.

El clip de sujeción es un elemento elástico que se encarga de mantener el riel en su posición correcta sobre la silla, absorbiendo las cargas dinámicas y las vibraciones generadas por el tránsito de los trenes. El clip de sujeción se fabrica generalmente en acero templado o en acero inoxidable, y se diseña para soportar las cargas axiales y laterales generadas por el material rodante y por los movimientos térmicos del riel.

La silla se fija a la estructura mediante tornillos y tacos de anclaje preinstalados en la losa. La silla se diseña para adaptarse al perfil del riel y para mantener una posición fija y estable en la estructura.



**Figura 20 Tipo de Sujeción seleccionado**

Fuente: Web

Cada elemento de fijación estará dispuesto en la vía cada 60 centímetros.

El número de elementos de fijación necesarios por kilómetro de línea de vía en placa para el Corredor Férreo del Sur, dependerá de varios factores, como el tipo de sistema de fijación utilizado, el tipo de riel y las características específicas de la línea. Sin embargo, con la propuesta establecida, es posible estimar cantidades necesarias por

kilómetro de vía. Por lo tanto, un cálculo aproximado basado en una línea de vía en placa con riel Vignole 54E1 y sistema de fijación por clip, se denota como sigue:

Se tiene una vía de ancho estándar de 1435 mm, y un espaciado de 60 cm entre clips de sujeción. Por lo tanto, en un kilómetro de línea de vía en placa se necesitarían aproximadamente:

$(1000 \text{ metros/km}) / (0.6 \text{ metros/clip}) \times 2 \text{ rieles} = 3.334 \text{ clips de sujeción}$ , con su respectivo kit de pernos tuercas y tacos.

Si se tiene una longitud total de 23,141 km de vía, es necesario multiplicar esta longitud por el número de vías (en este caso, dos) para obtener la longitud total de los dos rieles paralelos. Entonces:

Longitud total de riel =  $2 \text{ rieles} \times 23,141 \text{ km} \times 2 \text{ vías} = 92.564 \text{ km de riel}$ . Se debe asumir un porcentaje adicional para las zonas de cruzamiento y terceras vías. Este porcentaje estará estimado en un 25%. Entonces:

Longitud total de riel = 115.705 km de riel.

Luego, se convierte esta longitud total de rieles a centímetros y se divide entre la separación entre fijaciones, que es de 60 cm. Entonces:

Longitud total de cuatro rieles en dos vías en centímetros =  $115.705 \text{ km} \times 1000 \text{ m/km} \times 100 \text{ cm/m} = 11.570.500 \text{ cm}$

Número total de fijaciones necesarias =  $\text{Longitud total de cuatro rieles en dos vías en centímetros} / \text{Separación entre fijaciones} = 11.570.500 \text{ cm} / 60 \text{ cm/fijación} = 192.842 \text{ fijaciones}$

Por lo tanto, se necesitan 192.841 fijaciones para los cuatro rieles en una línea de 23,141 km de longitud con dos vías (solo para la vía principal).

### 6.1.8.3 Drenaje de la Plataforma

Para el Corredor Férreo del Sur por ser un sistema subterráneo, el drenaje es de vital importancia para evitar la acumulación de aguas y prevenir posibles inundaciones. En este sentido, es necesario prever un sistema de drenaje que permita evacuar el agua hacia el exterior del túnel de manera efectiva.

Una opción comúnmente utilizada en este tipo de sistemas es la instalación de canales de drenaje en el centro de la vía, las cuales son capaces de recolectar y dirigir el agua hacia un sumidero ubicado en la zona de inundación o punto bajo. Estos canales pueden ser de diferentes materiales, por ejemplo, acero galvanizado, aluminio o polímeros reforzados con fibra de vidrio, también se suelen utilizar composiciones de concreto mezclado con material impermeable que impide una filtración indeseada.

Se debe asegurar que la superficie de la vía tenga una pendiente adecuada para permitir que el agua se drene correctamente sin posibilidad de estancamientos indeseados.

Se deben diseñar canales de drenaje a lo largo de la vía para recolectar el agua y conducirla hacia la superficie o los sistemas de alcantarillado más cercanos, que por la profundidad del túnel (-30m) deben encontrarse en niveles superiores. Los canales de drenaje en el centro de la vía deben tener una sección transversal trapezoidal con una

anchura mínima de 200 mm y una profundidad mínima de 160 mm. El ángulo de la pendiente debe ser de al menos el 1% para permitir un flujo adecuado del agua.

En cuanto a los canales de drenaje laterales, la anchura mínima recomendada es de 150 mm y la profundidad mínima es de 100 mm. Es importante asegurarse de que los canales estén diseñados de manera que el agua fluya hacia el sumidero con facilidad y sin obstáculos.

Es importante tener en cuenta que las dimensiones de los canales de drenaje pueden variar dependiendo de la capacidad de carga, esta depende de las condiciones climáticas de la zona, el nivel freático encontrado en el subterráneo, ríos subterráneos entre otros. Por lo tanto, es importante seguir las normativas y recomendaciones locales para garantizar un sistema de drenaje eficiente y seguro.

Los sumideros son elementos clave en el sistema de drenaje de la vía, ya que son los encargados de recolectar el agua y evacuarla hacia el pozo principal de drenaje ubicado en los puntos más bajos del trazado y de allí trasladar el agua hasta los sistemas de alcantarillado mediante sistemas de bombeo que debe estar previstos en estos de manera redundada.

Los sumideros para vías férreas deben tener una dimensión mínima de 400 mm de ancho y 500 mm de largo, con una profundidad mínima de 600 mm. El fondo de los sumideros debe estar inclinado hacia la posición más efectiva para el orificio donde se coloca la tubería de salida hacia los pozos de drenaje del túnel.

Además, los sumideros deben contar con una rejilla para evitar que objetos y materiales puedan obstruir el sistema de drenaje. La rejilla debe ser de un material resistente y con un tamaño de malla adecuado para permitir el flujo del agua y evitar que los objetos o partículas puedan ingresar en el sistema de bombeo.

La inclusión de pozos de drenaje en cada uno de los puntos bajos del trazado es una práctica común y necesaria. Estos pozos de drenaje son estructuras que se utilizan para recolectar y evacuar el agua que se recolecta en los sumideros y canaletas y para mantener el nivel freático por debajo del nivel de la vía férrea.

Si no se construyen pozos de drenaje, el agua acumulada en el interior del túnel puede provocar daños en la estructura de la vía férrea, causando problemas como la erosión del suelo y la pérdida de estabilidad en el terreno circundante. Además, la acumulación de agua en los túneles puede generar riesgos de inundaciones y afectar la seguridad y la operación de los trenes.

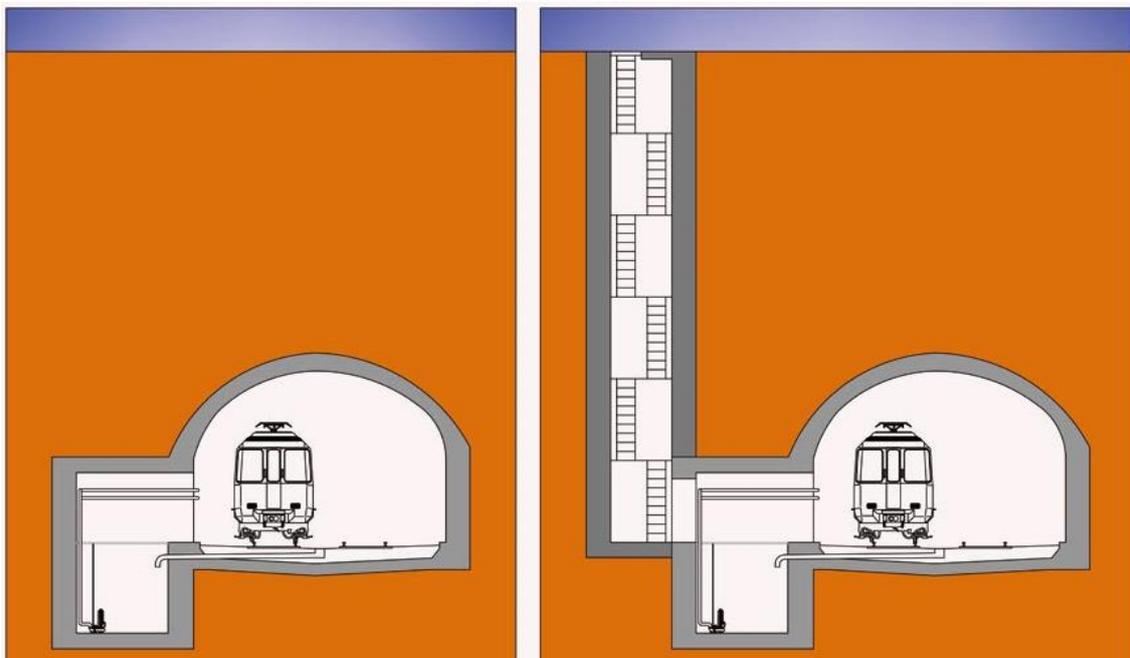
Los pozos de drenaje se construyen en los puntos bajos del trazado y están diseñados para recolectar el agua que se filtra en el túnel. Están ubicados en las zonas más bajas de la sección transversal del túnel y se conectan a un sistema de tuberías de drenaje que conduce el agua recolectada hacia el exterior del túnel. Es importante que estos pozos de drenaje se construyan con materiales resistentes y que estén equipados con sistemas de bombas para evacuar el agua de manera eficiente y evitar inundaciones.

Las bombas deben ser capaces de manejar grandes volúmenes de agua y se pueden activar de manera automática mediante sensores de nivel. De esta manera, se asegura que el agua sea evacuada de manera eficiente y sin necesidad de una intervención manual.

Las dimensiones generales de los pozos de drenaje pueden variar según el diseño y la capacidad de drenaje requerida, pero en general, suelen tener una profundidad de al menos 1 metro y un diámetro de 50 a 60 cm. Además, deben tener una cámara de acceso de al menos 60 cm de ancho y 60 cm de profundidad para permitir el mantenimiento y limpieza. Es importante que los pozos estén diseñados de manera que permitan la entrada y salida de agua de manera eficiente, y que cuenten con un sistema de rejilla o filtro para evitar la obstrucción de los conductos.

En zonas muy húmedas o donde el nivel freático sea alto, se pueden requerir pozos de drenaje de mayores dimensiones para permitir un mayor volumen de acumulación de agua. Esto dependerá de la zona geográfica y las condiciones específicas de la construcción. En cualquier caso, es importante que los pozos de drenaje tengan un tamaño suficiente para garantizar una adecuada capacidad de almacenamiento y permitir una eficiente evacuación del agua. Es necesario realizar estudios geotécnicos y de drenaje más detallados en fases posteriores del proyecto para determinar las dimensiones específicas de los pozos de drenaje en cada caso particular.

Si se requiere un pozo de mayor tamaño debido a las condiciones de humedad de la zona, se pueden considerar dimensiones de 1,5 metros de ancho por 2,5 metros de largo y una profundidad de 2 a 3 metros. Estas dimensiones proporcionan suficiente espacio para la instalación de tuberías y equipos necesarios para el drenaje, así como para el acceso y mantenimiento del pozo. Es importante recordar que estas medidas son una referencia y se deben ajustar según las necesidades específicas estudiadas en fases posteriores del proyecto, donde el nivel de detalle proporcione un cálculo más óptimo.



**Figura 21 Referencia gráfica de un pozo de drenaje**

Fuente: Web

Cada pozo debe contar con un Sistema de Control de Bombeo, que tienen como función principal mantener el nivel de agua en el pozo a un nivel predeterminado y seguro para garantizar un drenaje efectivo. Para ello, el sistema de control de bombeo debe estar diseñado para activarse automáticamente cuando el nivel de agua en el pozo alcanza este nivel predeterminado, y detenerse cuando se ha alcanzado el nivel de drenaje deseado.

El sistema de control de bombeo de cada pozo debe incluir dos (2) bombas sumergibles de alta capacidad conectadas de forma alternada para garantizar la redundancia y prolongar la vida útil de cada una, una caja de control eléctrico, dos (2) interruptores de nivel de flotador, una tubería de descarga y una válvula de retención. Las bombas sumergibles deben ser de un tamaño adecuado para el caudal de agua que se espera manejar, y estar diseñada para trabajar de manera eficiente y confiable en condiciones de alta humedad.

El interruptor de nivel de flotador es un dispositivo que activa la bomba cuando el nivel de agua en el pozo alcanza una altura predeterminada y la apaga cuando se ha alcanzado el nivel de drenaje deseado. La tubería de descarga debe estar diseñada para transportar el agua drenada a un punto de descarga seguro y adecuado, y la válvula de retención se utiliza para evitar el retroceso del agua en la tubería de descarga.

La potencia de las bombas debe ser calculada con base en las condiciones específicas del proyecto, tales como la cantidad de agua a ser drenada, la elevación del punto de bombeo y la longitud de la tubería de descarga. Además, se deben tener en cuenta las condiciones de diseño del túnel y los requerimientos normativos. Al no contar con este nivel de detalle en esta etapa, se recomienda realizar estos estudios en posteriores etapas del proyecto.

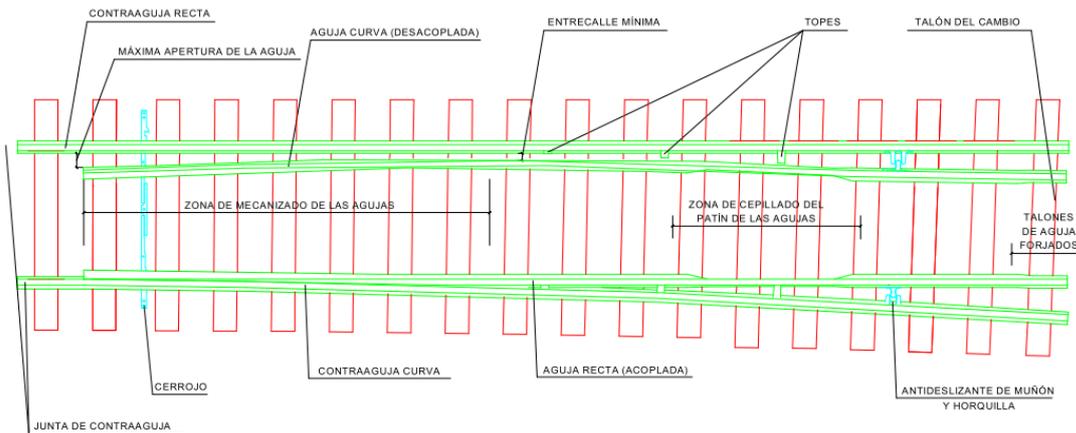
Una vez definidos estos parámetros, se puede proceder a la selección del tipo y capacidad de la bomba. Es importante seleccionar una bomba con capacidad suficiente para manejar el caudal de agua a ser drenado y con una cabeza de descarga adecuada para superar las pérdidas de carga en la tubería de descarga.

#### 6.1.8.4 Cambiavías

El prediseño de los cambiavías del Corredor Férreo del Sur es esencial para garantizar la seguridad en el tránsito de los trenes y permitir un flujo eficiente de los mismos en la red ferroviaria. En total se tienen 35 cambiavías en la línea principal que estarán ubicados en puntos estratégicos del trazado, como zonas de transición entre vías, ingreso a terceras vías o para el cruzamiento de emergencia de una vía a otra y en las salidas a Patio Taller. Como puede observarse en la Figura 45 Diagrama Esquemático de Vías del Corredor Férreo del Sur.

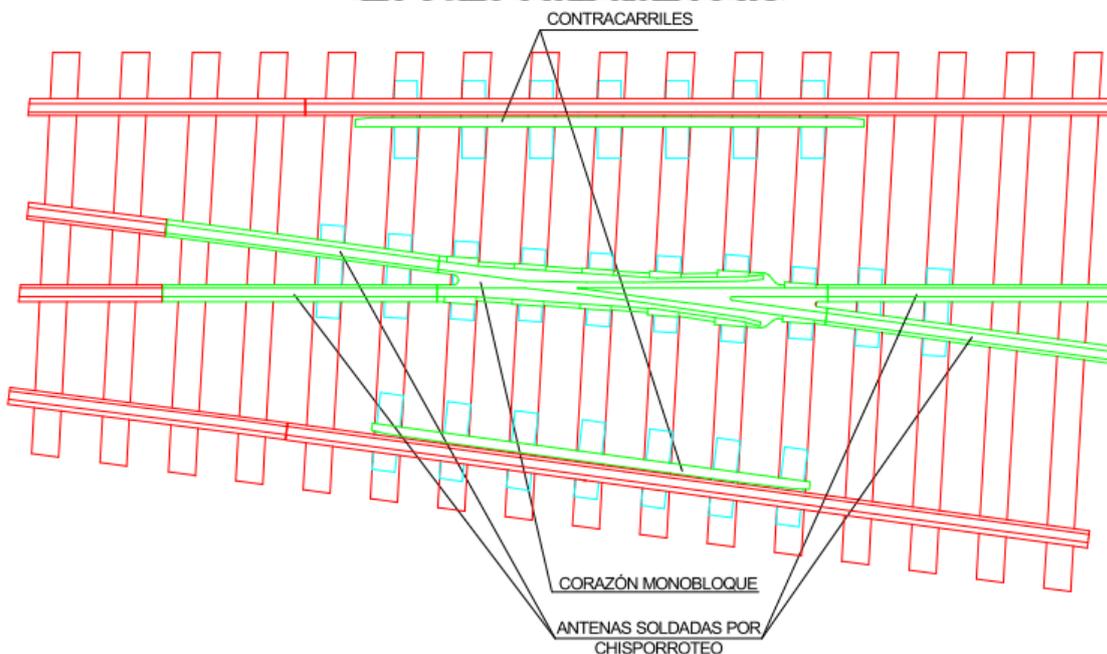
Se requiere que los cambiavías sean de agujas flexibles con maniobra de accionamiento eléctrica y control de comprobación de posición integrado con el Sistema de Señalización, para un monitoreo desde el CCO de la condición de cada uno de ellos en tiempo real. Deben contar con un corazón tipo monobloque, elaborado con material de acero al manganeso, además de todos los accesorios de unión necesarios para su apoyo sobre el tipo de vía seleccionado, vía en placa con fijación directa. Estos cambiavías deberán estar diseñados para un mínimo de un millón de maniobras antes de necesitar una rehabilitación general del mecanismo.

Asimismo, es necesario que cuenten con un mecanismo de maniobra electromecánico que cumpla con las siguientes especificaciones: esfuerzo máximo de maniobra de 6000 Nm, esfuerzo máximo de retención de 4000 Nm para los accionamientos talonables, duración de maniobra de un máximo de 4 segundos, y comprobación independiente de los espadines, en donde la distancia de apertura del espadín sin pérdida de comprobación no debe superar los 4 mm.



**Figura 22 Zona de cambiavías en representación del área de cambio o punta de aguja**

Fuente: Web



**Figura 23 Zona de cambiavías, en representación del área del corazón del cambio**

Fuente: Web

Los desvíos serán 190-1:9-49, es decir, de una longitud de 190 unidades metros, una relación de curva de 1:9 y un ángulo de desviación de 49 grados. La relación de curva de 1:9 indica que, por cada 9 metros de longitud en la vía, habrá un grado de curvatura. Por lo tanto, cuanto menor sea el número en la relación de curva, más pronunciada será la curva en el desvío.

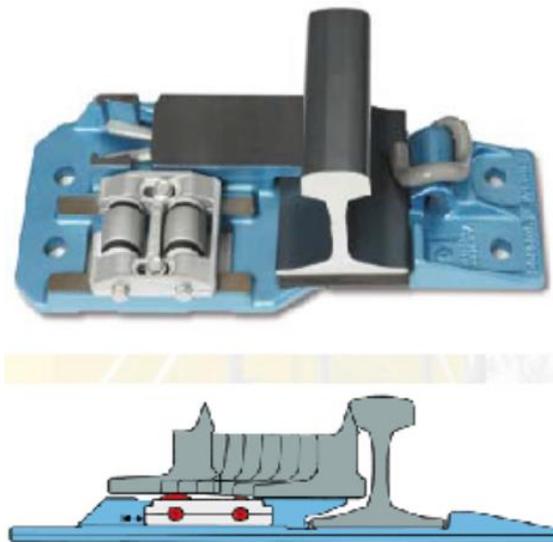
Desvíos de 190: se refiere a la longitud de los desvíos en metros.

"1:9": se refiere a la relación entre la longitud del arco y la longitud de la cuerda que forman los carriles en la curva del desvío. Una relación de 1:9 significa que, por cada 9 metros de cuerda, hay 1 metro de arco. Esta relación se utiliza para calcular la velocidad máxima permitida en el desvío.

"49": es el ángulo de desviación, en grados, de la vía en el desvío.

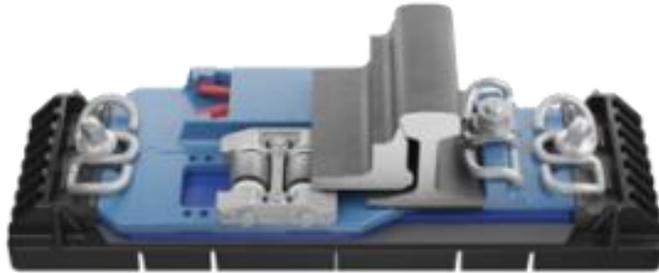
Según el tipo de vía a instalar (vía en placa con fijación directa) se deja como recomendación la implementación de desvíos de tipo Schwihag, que son desvíos que utilizan dispositivos de rodillos para facilitar el desplazamiento de la aguja y pueden ser una excelente opción para la instalación en el Corredor Férreo del Sur debido a sus características técnicas y de seguridad.

Los dispositivos de rodillos SCHWIHAG, proporcionan un desplazamiento suave y continuo del carril de espadín debido al ajuste en altura de forma continua e individual de los rodillos entre -0,5 y +6,0 mm La colocación combinada de las placas con rodillos IBAV en las traviesas no dificulta los trabajos de mantenimiento. Estos rodillos se encuentran instalados en la zona de la punta de aguja, en el resto del cambio se recomienda utilizar resbaladeras con plantillas libres de engrase y resistentes de corrosión o con un recubrimiento de molibdeno y sellado con cera lubricante.



**Figura 24 Dispositivos de Rodillos Schwihag**

Fuente: Web



**Figura 25** Dispositivo de Rodillos Schwihaq

Fuente: Web

### 6.1.9 PREDISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA EN PATIO TALLER

Para el prediseño de la superestructura en el Patio Taller del Corredor Férreo del Sur considerando que se encuentra a nivel de superficie se tienen las siguientes especificaciones:

Las vías principales del Patio se proponen que sean sobre balasto, lo que significa que se deberá instalar una capa de balasto de un espesor adecuado sobre la subestructura de la vía en base a la normativa N.R.V.2-1-0.1. de ADIF. El balasto deberá cumplir con las especificaciones de la normativa ferroviaria EN 13450 y deberá ser compactado correctamente para asegurar la estabilidad y la nivelación de la vía.

Para la construcción de la vía en el Patio Taller del Corredor Férreo del Sur, se utilizará una subrasante conformada por una capa de material granular compactado y nivelado. Encima de la subrasante se colocará una capa de subbalasto de 20 cm de espesor, la cual será compactada y nivelada cuidadosamente antes de la colocación de la capa de balasto. La capa de balasto tendrá un espesor de 30 cm, cumpliendo con las especificaciones establecidas por la norma N.R.V.2-1-0.1. de ADIF.

Se deberán utilizar traviesas de concreto armado de tipo monoblock o de madera tratada, las cuales serán colocadas sobre el balasto y fijadas a la subestructura de la vía. La distancia entre los ejes de los durmientes o traviesas será de 60 cm. Se deberá asegurar que las traviesas estén niveladas y alineadas correctamente para garantizar una vía estable.

Se utilizará riel Vignole 54E1, el cual ha sido seleccionado para todo el trazado del Corredor Férreo del Sur. Se deberá instalar de forma adecuada, siguiendo las especificaciones de la normativa correspondiente y las instrucciones del fabricante.

Se deberá instalar el sistema de fijación por clip, con una fijación cada 60 cm, es decir, una fijación en cada durmiente, para garantizar una sujeción adecuada del riel. Se deberá asegurar que las fijaciones estén correctamente instaladas y ajustadas para evitar movimientos no deseados del riel.

#### 6.1.9.1 Vías de Talleres

Para las vías en los talleres del Corredor Férreo del Sur se proponen los tipos de vía en placa con riel embebido estudiadas en los apartados 6.1.5.5 y 61.5.6

- Vía embebida en placa con material elastómero tipo resina o
- Vía embebida en losa de concreto

## 6.2 PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

A continuación, se exponen los principios generales que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de los prediseños de los subsistemas considerados por los Capítulos Técnicos, en cuanto a la integración de los mismos, haciendo notar que al desarrollar cada uno de tales subsistemas, se indicó la correspondiente y necesaria integración con otros subsistemas, de manera tal que al nivel de la fase de estudio del Proyecto que nos ocupa, Prefactibilidad, se han tenido en cuenta las necesarias previsiones en cuanto a la integración.

La integración de los sistemas ferroviarios es un aspecto crucial que se debe tener en cuenta durante sus fases de diseño y operación, de manera tal que se garantice que sus diferentes subsistemas sean compatibles. Lo anterior implica que se deben definir y aplicar estándares y protocolos, de reconocido valor internacional, compatibles entre ellos, para garantizar que las diferentes partes del sistema puedan comunicarse y funcionar de manera conjunta.

Considerándose los sistemas de señalización y control y el de telecomunicaciones como uno de pilares de un sistema de transporte basado en tecnología ferroviaria, su adecuada integración resulta fundamental para garantizar la seguridad, eficiencia y confiabilidad en su explotación. Es así como mientras el sistema de señalización y control permite regular el movimiento de los trenes, el de telecomunicaciones hace posible, como su denominación lo indica, la comunicación entre las estaciones, los trenes y el CCO. Habida cuenta de lo anterior, tales subcomponentes se han previsto de forma tal que puedan interactuar adecuadamente.

Otro aspecto vital que se ha tenido en cuenta dentro de las propuestas que se plasman en el presente Informe, ya mencionado en el párrafo anterior, es el relativo al equipo embarcado en el material rodante, el cual debe asegurar el correcto intercambio de información en tiempo real, entre otros aspectos, sobre la posición y velocidad de los trenes, con el CCO.

No sobra reiterar el papel primordial que desempeña el CCO, constituyéndose en pieza neurálgica del sistema de transporte, dado, como es conocido, que en dicho Centro se monitorea, controla y coordina la operación.

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta en cuanto a la integración tecnológica, es lo referente a una de las funciones que debe realizarse mediante el CCO, como es lo ya

indicado en el numeral 6.2.3 en cuanto a la Supervisión y Control de la energía (sistemas de Alimentación de Alta Tensión, Media Tensión, Alimentación Tracción para los Trenes y Alimentación Baja Tensión para estaciones y edificios técnicos), así como en lo concerniente a la Supervisión de la seguridad e Información a los pasajeros en las estaciones y en los Trenes (CCTV, Interfonía y megafonía, información visual, control de acceso, etc.).

### 6.2.1 SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL UBICADO EN EL CENTRO DE CONTROL OPERACIONAL EL PRINCIPAL Y DE RESPALDO

El Centro de Control de Operaciones (CCO) del Corredor Férreo del Sur estará compuesto por un conjunto de herramientas y/o equipamiento HW/SW que deberá permitir la supervisión y gestión centralizada del tránsito de los trenes y todos los sistemas de la Línea.

El objetivo principal del Centro de Control de Operaciones será lograr 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.

En resumen, el CCO se compone de las siguientes funciones:

- Supervisión y control de la circulación de los Trenes en línea principal y en el Patio-Taller. (Sistema ATS, Automatic Train Supervisión, vinculada con el CBTC)
- Supervisión y Control de la energía (sistemas de Alimentación de Alta Tensión, Media Tensión, Alimentación Tracción para los Trenes y Alimentación Baja Tensión para estaciones y edificios técnicos)
- Supervisión de la seguridad e Información a los pasajeros en las estaciones y en los Trenes (CCTV, Interfonía y megafonía, información visual, control de acceso, etc.)
- Supervisión y Control de los equipos en estaciones (SCADA)

El Centro de Control de Operaciones necesariamente debe ser redundado, es decir, desde el CCO principal se podrá llevar a cabo toda la operación y el control del sistema y en caso de presentar este algún tipo de avería existirá un CCO de respaldo, que al igual al principal deberá manejar la correspondencia de todas las funcionalidades que permitan realizar las operaciones del sistema de forma segura.

El CCO deberá estar dotado mínimamente de:

- ✓ Panel o pantalla videográfica general de comprobaciones.
- ✓ Puestos de Operadores, cada uno de los cuales dispondrá de un Computador con el programa del sistema de bloqueo y manejo de los enclavamientos.
- ✓ Pantallas videográficas para las comprobaciones mediante una simbología establecida los sistemas de control de tráfico, energía y telecomunicaciones.
- ✓ Un teclado alfanumérico para ejecutar los comandos relacionados con el bloqueo. Los teclados pueden transferirse el mando entre sí.

- ✓ Altavoces, para reproducción de sonido de alarmas de cualquier alerta que el operador deba atender del sistema.

El Sistema de control a instalar para el Corredor Férreo del Sur debe incorporar módulos IHMs (Interfaz Hombre – Máquina) para que los operadores puedan interactuar con el núcleo del sistema y con el enclavamiento seleccionado para el Sistema de Señalización.

La interfaz principal entre el operador y el sistema de señalización se encargará de mostrar el estado actualizado de la vía y de sus elementos, gestionar las alarmas y eventos, y proveer un procedimiento de despacho que sea de uso amigable a los operadores, para que se envíen los comandos predefinidos a los elementos de vía deseados a través del enclavamiento y los sistemas de comunicaciones en el caso de la señalización.

Las estaciones de trabajo deben mostrar el sinóptico de las vías, implementándose previamente el estudio de las normas videográficas a seguir. Cada elemento de vía y sus diferentes estados deberán ser presentados previamente para permitir que exista una interacción adecuada entre el operador y el sistema ATS.

El análisis de diseño para alta disponibilidad se presentará como parte de la fase de desarrollo por la compañía de ejecución del proyecto.

El Sistema de Señalización y Control de Trenes incorporará un Sistema de Supervisión Automática de Trenes (ATS).

El sistema ATS deberá contener la información de horarios de partida y llegada de trenes.

El sistema ATS proporcionará información sobre la ubicación de todos los trenes en la línea con referencia al horario.

El sistema ATS registrará todas las indicaciones operativas del sistema de Señalización y Control de Trenes y sus subsistemas.

El sistema ATS alertará al operador sobre la pérdida de información sobre la ubicación del tren y/o alguna otra alarma referente a la operación del sistema.

El sistema ATS proporcionará las herramientas para ayudar al operador en la preparación de un tren al inicio de la operación comercial, sugiriendo el patrón de servicio que se asignará, el número de identificación del tren que se utilizará y otros parámetros operativos, según el horario en uso, permitiéndose un fácil seguimiento de la operatividad de cada tren.

Una vez que el operador asigna un patrón de servicio al tren, el sistema ATS monitoreará la posición del tren e iniciará automáticamente las acciones necesarias e interactuará según sea necesario con el sistema de Señalización y Control de Trenes para garantizar que el Tren se mueva a lo largo de su patrón de servicio asignado sin demoras.

El sistema ATS proporcionará vistas de HMI (por ejemplo, horarios, ubicaciones de trenes, números de identificación de trenes, estado operativo del sistema Señalización y Control de Trenes y sus subsistemas, etc.) al CCO para respaldar el trabajo operativo.

### **6.2.1.1 REQUISITOS APLICABLES AL PROYECTO (CCO)**

El sistema de señalización y control de trenes proporcionará todas las herramientas e interfaces Hombre Máquina para respaldar los requisitos operativos especificados en este documento.

El sistema de señalización y control de trenes central será

- Tolerante a fallas y con alta disponibilidad entre los equipos instalados en campo y el centro de control de operaciones, donde los servidores centrales serán redundantes.
- Utilizará una Red de Comunicación de Fibra Óptica redundada de doble anillo.
- Proporcionará un control centralizado para la supervisión y control de todos los sistemas de control.
- El sistema de control para los talleres será un subconjunto del sistema principal, y habrá un límite claro entre el Taller y la Línea principal y el resto de las operaciones de control, con áreas de transición entre ambos, a los efectos de la definición de áreas de control.
- Deberá adaptarse a la operación y alineación de sistemas de trenes de pasajeros.
- Cumplirá plenamente con los requisitos relevantes de Construcción y operación de sistemas de tránsito de trenes de pasajeros y con las mejores prácticas internacionales para la operación de trenes y en particular alineados con las normas EN 50126, EN 50128, EN 50129, EN 50159.

### 6.2.1.2 ARQUITECTURA DEL CCO

#### 6.2.1.2.1 Sistema de Gestión de Tráfico (SGT)

El sistema de gestión de tráfico para el sistema férreo deberá tener redundancia tanto en redes como en equipos, por lo tanto, cada servidor de aplicaciones debe contar con un software de alta fiabilidad que permita la configuración de clúster hot-stand by.

Para la estructura de bases de datos se utilizará el mismo almacenamiento utilizado en los servidores del CCO, evitando la instalación de hardware adicional. Debido a que estos equipos se encuentran en un clúster, es necesario un software de replicación de bases de datos que permita la sincronización de la información. También se debe aclarar que las bases de datos de puestos de operación local en los enclavamientos deben estar sincronizados con la base de datos central, permitiendo la configuración de usuarios, gestión de alarmas, etc.

Se propone que el sistema de gestión de tráfico permita mínimamente las siguientes funciones:

- ✓ Descarga de informes relativos a la operación (informe de kilómetros recorridos, itinerarios realizados, cumplimiento de la planificación, información del material rodante, entre otras).
- ✓ Persecución del recorrido de vehículos ferroviarios.
- ✓ Formación automática de itinerarios.
- ✓ Despacho automático de trenes.
- ✓ Operación, control y supervisión centralizada de tráfico.
- ✓ Regulación de la operación.
- ✓ Planificación de la operación.

- ✓ Comandar los enclavamientos electrónicos

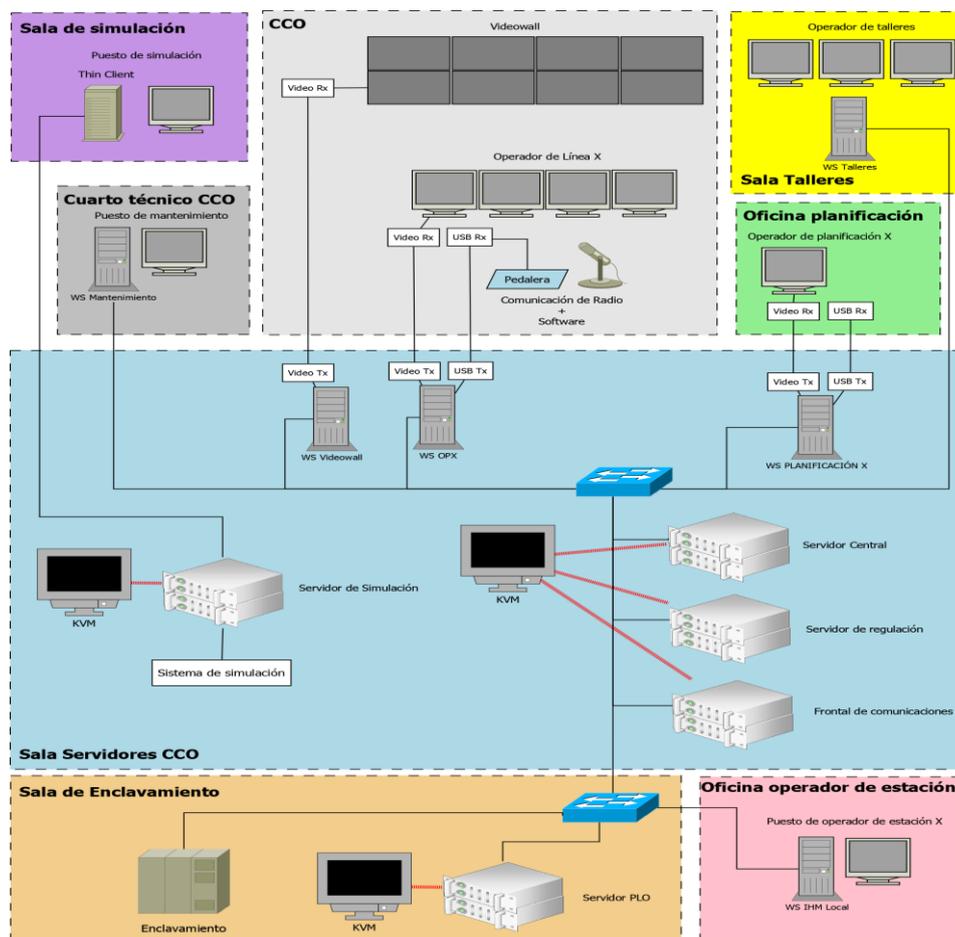
En la figura 19, se muestra la arquitectura de hardware del CCO. Se debe notar que el CCO se conecta con los enclavamientos y la infraestructura CBTC a través de la red de fibra óptica y la conexión inalámbrica de los vehículos ferroviarios.

#### 6.2.1.2.2 Workstation de mantenimiento

La Workstation de mantenimiento se encuentra en el CCO y en todos los enclavamientos principales, en los cuales es necesario una oficina de mantenimiento a parte de la oficina de operación. En las Workstation de mantenimiento se encuentra el software moviola que permitirá realizar la reconstrucción de la operación de los trenes, el cual permitirá almacenar hasta 6 meses de operación. Además de la moviola, desde este equipo será posible acceder a los demás equipos locales para el acceso y mantenimiento de los equipos.

#### 6.2.1.2.3 Workstation de planificación (CCO)

Este puesto permitirá realizar desde un software de planificación la regulación automática de los trenes con el fin de gestionar anticipadamente los itinerarios y recorrido de los trenes en servicio. El software debe permitir planificar por horarios establecidos y permitir cargar la planificación al servidor de regulación. La Workstation de planificación también permitirá simular el horario generado antes de cargarlo en los servidores de regulación.



**Figura 26 Diagrama de arquitectura del SGT.**

Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.1.2.4 Puesto de simulación

El puesto de simulación debe permitir conectarse a un hardware de pruebas que simula todas las prestaciones del sistema CBTC con los componentes principales: Sinóptico, Enclavamiento, elementos de campo, computador embarcado y comunicaciones inalámbricas. El sistema de simulación debe permitir capacitar al personal técnico en el hardware / software (uso) principal del sistema, por lo cual este equipamiento puede ubicarse en el CCO o en las oficinas del Taller.

El puesto de simulación debe permitir acceder remotamente a los equipos de simulación, por medio de un thin client o una Workstation con las mismas prestaciones de los puestos de mantenimiento.

#### 6.2.1.2.5 Puesto de Operador de línea y de Talleres

El puesto de los operadores de línea en el CCO y de Talleres, deberá contar con un sistema operativo de tipo Windows 10 PRO o más avanzado con un software de gestión de máquinas virtuales, con el fin de dividir los sistemas de gestión del operador, facilitar el acceso a todos los servicios desde un solo puesto y no mezclar las redes de

comunicación. Estos puestos deben contar con las siguientes máquinas y su respectiva licencia de sistema operativo:

- ✓ Máquina virtual del Sinóptico CBTC
- ✓ Máquina virtual con el software de Telecomunicaciones
- ✓ Máquina virtual con acceso a la intranet de los empleados.

#### 6.2.1.2.6 Puesto de operador de estación o Puesto de Operación Local (PLO)

Una estación con enclavamiento principal tendrá un puesto que permita el control y supervisión del sistema de la porción controlada por el enclavamiento local. Este puesto solo contendrá el sinóptico del CBTC que servirá específicamente para la operación del sistema férreo de la zona de control establecida.

##### 6.2.1.2.6.1 Frontal de comunicaciones (FEC)

Se propone un servidor redundando que permita recibir las comunicaciones con los enclavamientos del sistema CBTC, de manera que sirva de interfaz entre el CCO y los sistemas a controlar. El servidor FEC debe almacenar logs de comunicación con un histórico de por lo menos 6 meses.

##### 6.2.1.2.6.2 Videowall

La máquina del videowall debe permitir visualizar el sinóptico del CBTC y las cámaras de CCTV de puntos estratégicos del sistema (por ejemplo, hall de la estación, andenes). Se propone mostrar 2 filas de pantallas en las que se permita distribuir las máquinas virtuales del Sinóptico y de diversos subsistemas de telecomunicaciones, como por ejemplo CCTV.

##### 6.2.1.2.6.3 Extensores de Video y USB

Se tratan de extensores KVM (Keyboard, Video and Mouse). Su finalidad es permitir alojar todos los equipos de procesamiento y comunicación en la Sala de Servidores. Con estos extensores, los operadores y mantenedores del sistema podrán operar los equipos sin necesidad de estar en la misma sala del PC. La Workstation de los operadores del CCO y de Talleres se especifica en la próxima tabla. En cada una de estas tablas se indica la posibilidad seleccionar una marca de hardware DELL o HP y esta selección se debe mantener para todos equipos de cómputo y servidores del proyecto, esto con el fin de estandarizar el mantenimiento con un solo fabricante.

#### 6.2.1.2.7 Centros de control - Estaciones de trabajo CCO

Los lugares de trabajo del operador en el CCO y CCO-R del Corredor Férreo del Sur incluirán cada uno tres (3) estaciones de trabajo, ver la siguiente figura.

La gestión, el control y la coordinación de los equipos de señalización estarán plenamente respaldados con sujeción a los privilegios y autorizaciones de acceso.

Para evitar disputas por el control, en cada uno de los CCO, las estaciones de trabajo del operador y el equipo del subsistema ATS deberán diseñarse de manera que solo una estación de trabajo pueda tener control de cualquier área de la vía o función ATS, según corresponda, a la vez.



**Figura 27 Puestos de trabajo CCO.**

Fuente: Web

Instituto de Desarrollo Urbano

## 6.2.2 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (SER, SET Y CTE)

El Sistema de Alimentación de Energía está compuesto por una serie de equipos e instalaciones que se despliegan a lo largo del trazado propuesto para el Corredor Férreo de Sur, cercanos a las estaciones de la línea y a la infraestructura ferroviaria, estará calculado para permitir el suministro de energía necesaria para la tracción de los trenes y la energía de auxiliares que corresponde a estaciones, túneles, patios, edificios de mantenimiento, edificios administrativos y CCO.

El Sistema de Alimentación de Tracción que se propone para el Corredor Férreo del Sur es mediante Catenaria Rígida, a una tensión de 1500Vcc. Se seleccionó esta tecnología de alimentación debido a que ofrece una mayor gama de beneficios ante un Sistema de tipo Metro Pesado Subterráneo y a su vez se trata de establecer una interoperabilidad con la Línea 2 del Metro de Bogotá que empleará también este tipo de Sistema de Alimentación.

Se define como interoperabilidad a la posibilidad de permitir la circulación segura e ininterrumpida de vehículos ferroviarios manteniendo unos rendimientos determinados desde el punto de vista energético. El objetivo es eliminar las barreras que puedan existir entre los distintos sistemas de electrificación en la Bogotá Región.

Para sistemas de transporte de pasajeros tipo Metro ferroviario, se considera que la configuración de redundancia de doble anillo es una opción ideal para garantizar la continuidad del suministro de energía en el Corredor Férreo del Sur en caso de fallas en alguna de las subestaciones de tracción. Esta configuración permite mantener el suministro de energía de manera ininterrumpida y asegura la alta disponibilidad del servicio. Además, permite reducir los riesgos de paralización del sistema en caso de fallas.

La implementación de esta configuración de redundancia implicaría un costo adicional en la construcción de las subestaciones eléctricas, debido a la necesidad de instalar equipos adicionales y establecer las conexiones adecuadas para formar los dos anillos de suministro eléctrico. Sin embargo, los beneficios que se obtienen en términos de confiabilidad y disponibilidad del servicio justifican el costo adicional.

Es importante destacar que esta configuración de redundancia es una práctica común en los sistemas de transporte de pasajeros tipo Metro ferroviario modernos en todo el mundo. Esto se debe a que se busca garantizar la continuidad del servicio en todo momento, y se considera que la implementación de sistemas de redundancia es una de las mejores opciones para lograr este objetivo. En este sentido, se puede afirmar que la implementación de la configuración de redundancia de doble anillo es una buena práctica y está en línea con los estándares internacionales en el diseño de sistemas de transporte de pasajeros tipo Metro ferroviario.

#### 6.2.2.1 Catenaria Rígida

La catenaria rígida es un sistema de suspensión utilizado en túneles ferroviarios para soportar el cable de contacto que suministra energía eléctrica a los trenes que circulan por ellos.

Este sistema se llama catenaria rígida porque consiste en una serie de secciones de soporte que forman una estructura rígida a lo largo de la línea de contacto, en lugar de una catenaria convencional que cuelga libremente entre los postes de soporte.

La principal ventaja de la catenaria rígida es que proporciona una mejor estabilidad y control del cable de contacto en comparación con una catenaria convencional. Esto se debe a que el sistema rígido está diseñado para minimizar el movimiento del cable y mantenerlo en una posición estable. Además, la catenaria rígida también es menos susceptible a la vibración y al viento, lo que reduce el riesgo de fallos en la alimentación eléctrica y mejora la fiabilidad del sistema.

Otra ventaja importante es que la catenaria rígida requiere menos mantenimiento en comparación con una catenaria convencional.

Además de estas ventajas técnicas, la catenaria rígida también tiene una ventaja estética. Al estar suspendida del techo del túnel, no ocupa espacio en el suelo del túnel, lo que permite una mayor circulación de vehículos y peatones. En general, la catenaria rígida es una solución eficiente y efectiva para soportar y guiar los cables y equipos en túneles.

El mayor inconveniente de este tipo de sistemas es su elevado precio, mientras que existe una serie de ventajas que esta tecnología puede aportar. Así, estos sistemas están siendo empleados con gran éxito en zonas donde el gálibo es muy limitado, como son los túneles.

Por otra parte, la ausencia de esfuerzos de tracción permite un mayor aprovechamiento del hilo de contacto, sin riesgo de rotura de este, siendo la única limitación que el pantógrafo no roce con el perfil de aluminio.

Al permitirse un mayor desgaste del hilo y una sustitución más rápida del mismo, los costes de mantenimiento son menores, a la vez que al tratarse de un sistema con menos componentes y de menor complejidad que una catenaria convencional, el tiempo de reparación en caso de averías también suele ser menor. Según el fabricante, se pueden conseguir velocidades de circulación de hasta 110 Km/h. Con lo antes descrito, claramente se identifica este tipo de instalación como muy conveniente para sistemas suburbanos.

#### 6.2.2.2 Subestaciones Receptoras

Las subestaciones receptoras son instalaciones eléctricas que reciben la energía de alta tensión de la red de suministro eléctrico y la transforman a baja tensión, para ser distribuida y utilizada en el sistema de tracción del tren. En el caso del Corredor Férreo del Sur, las subestaciones receptoras deben estar ubicadas en puntos estratégicos de la línea para garantizar un suministro eléctrico adecuado y eficiente.

Es recomendable que estas subestaciones estén ubicadas cerca de las subestaciones de tracción para minimizar las pérdidas en la línea de transmisión de la energía eléctrica. Además, deben contar con equipos de protección y control adecuados para garantizar una operación segura y confiable.

Entre los equipos de protección y control adecuados para garantizar una operación segura y confiable que se deben incluir, se encuentran:

- Transformadores de Potencia: Se encargan de reducir el voltaje de la energía eléctrica proveniente de la red de suministro a niveles adecuados para su uso en la subestación.
- Interruptores de Potencia: Permiten la conexión o desconexión de los equipos de la subestación al sistema de suministro eléctrico.
- Celdas de Media Tensión: Se encargan de la distribución de la energía eléctrica a los diferentes circuitos de la subestación.
- Celdas de Baja Tensión: Permiten la conexión de los circuitos de baja tensión que alimentan a los equipos auxiliares y de control de la subestación.
- Sistema de Control y Protección: Incluye relés de protección, sistemas de control y monitoreo remoto que permiten garantizar la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico de la subestación.
- Sistema de Puesta a Tierra: Permite la conexión del sistema eléctrico a tierra para garantizar la seguridad de las personas y equipos en caso de fallas o descargas eléctricas.
- Sistema de Ventilación y Climatización: Es necesario para mantener las condiciones adecuadas de temperatura y humedad en la subestación y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

En cuanto a su capacidad, deben ser dimensionadas según la demanda de energía eléctrica de los trenes y otros equipos auxiliares, como sistemas de ventilación, iluminación, señalización, entre otros. Es importante que se tenga en cuenta la proyección de crecimiento de la demanda en el futuro, para evitar sobrecargas y limitaciones en el suministro eléctrico.

Para determinar la capacidad de cada subestación receptora del Corredor Férreo del Sur, es necesario tener en cuenta la demanda de energía eléctrica de los trenes y otros equipos auxiliares. Si consideramos que la carga total del sistema es de 30 MVA, entonces podemos dividir esta carga entre las 3 subestaciones receptoras para obtener una capacidad de 10 MVA por subestación.

Es importante mencionar que este cálculo debe ser complementado con un estudio más detallados de la demanda de energía eléctrica en cada tramo del corredor y en cada una de las estaciones, para determinar la distribución óptima de las subestaciones receptoras y su capacidad específica. De esta manera se asegura una operación confiable y eficiente del sistema eléctrico del corredor.

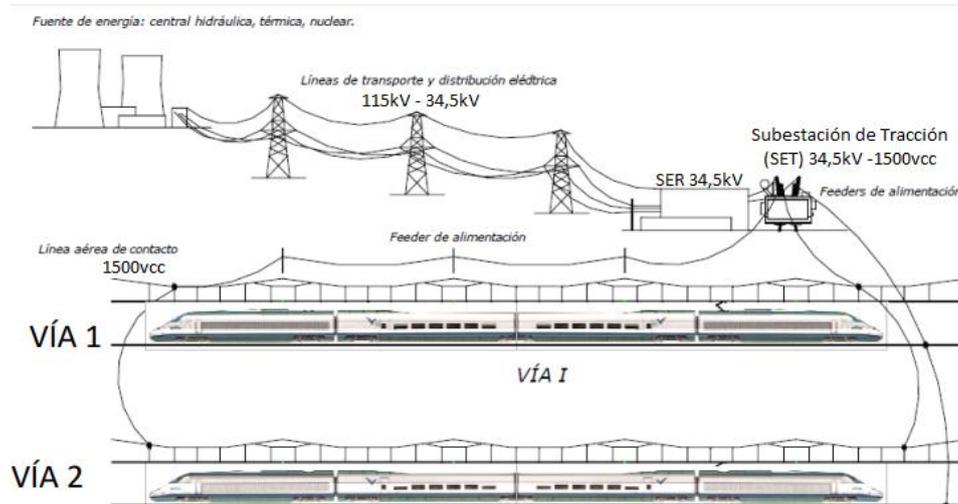
La configuración de las conexiones entre las subestaciones receptoras del Corredor Férreo del Sur debe ser diseñada de manera que se garantice la redundancia de doble anillo. Esto significa que las subestaciones receptoras se deben conectar de forma tal que se forme un anillo principal y un anillo secundario, de manera que, en caso de falla en alguna subestación, el suministro de energía puede ser desviado por el otro anillo sin afectar el suministro de energía a las subestaciones de tracción.

Cada subestación receptora debe estar conectada a ambas líneas de anillo, y los interruptores de cada subestación deben ser configurados para permitir el flujo de energía en ambas direcciones, de forma que si una subestación falla, la energía puede ser suministrada a través de la línea de anillo secundario.

En general, la configuración de las conexiones entre las subestaciones receptoras debe ser diseñada para garantizar la máxima redundancia y disponibilidad del suministro de energía, con equipos de protección y control adecuados para garantizar una operación segura y confiable.

La conexión de las tres subestaciones receptoras con las cinco subestaciones de tracción debe ser diseñada de manera que permita una configuración de redundancia de doble anillo, garantizando así el suministro de energía en caso de fallas en alguna de las subestaciones de tracción o receptoras.

Para ello, se puede utilizar una configuración de doble anillo en la que las subestaciones receptoras se conectan con las subestaciones de tracción formando un anillo principal y un anillo secundario. Cada subestación de tracción estaría conectada a dos subestaciones receptoras diferentes, una en cada anillo, de manera que en caso de falla en una subestación de tracción o receptoras, el suministro de energía puede ser desviado por el otro anillo sin afectar el suministro de energía a la línea de tracción.

**Figura 28 Distribución de la Energía**

Fuente: Web

**NOTA:** La imagen es solo referencial, ya que el Corredor Férreo del Sur es un Sistema Subterráneo con Catenaria Rígida.

### 6.2.2.3 Subestaciones de Tracción

Las líneas de alimentación previstas para el Corredor Férreo del Sur derivan directamente de la red eléctrica de la Bogotá Región a una tensión de 34.5kV, siendo acondicionada y transformada la tensión de alimentación en la subestación de tracción para el uso de los trenes.

El diseño de estas instalaciones está basado en la utilización óptima de la mejor tecnología para los motores de tracción existente en el momento, lo cual condiciona el resto del sistema.

La composición de este tipo de subestaciones, de manera habitual, es:

- Acometida eléctrica en "media tensión (34.5 kV)" desde la subestación receptora
- Tras la acometida eléctrica, se suele encontrar un parque de alta tensión en que se protege dicha acometida.
- Se transforma la tensión de acometida a la tensión de operación.
- En el interior del edificio técnico se instalan los grupos rectificadores.
- Se protege la salida catenaria con disyuntores o interruptores de alto poder de corte.
- Por último, se acomete a catenaria a través de un pórtico de feeders equipado con seccionadores y pararrayos.

Este tipo de subestaciones se separa, aproximadamente, entre 2 y 6 km para sistemas de metro y tranvía que utilizan tensiones 1500Vcc, dependiendo del tráfico y del perfil de la vía. Para el Corredor Férreo del Sur se propone una separación entre subestaciones de tracción de 5km aproximadamente, teniendo en total 5 subestaciones

de tracción a lo largo del corredor, por tratarse de una línea de aproximadamente 24km de longitud. También se propone una subestación de tracción disponible para la alimentación de los Patios y Talleres.

Para cerrar el circuito, el retorno de las corrientes de tracción hacia las subestaciones se realiza, habitualmente, por medio de los rieles, que también se conectan a las subestaciones instalando unos conductores llamados "negativos" o retornos.

El sistema de energía comprende los siguientes niveles:

- Alta tensión (AT): está conformado por la acometida desde el suministro correspondiente a la red de energía pública nacional de 34.5kV.
- Transformación: corresponde a la transformación y el suministro de la Media Tensión (MT) de 34.5 kV a la energía necesaria.
- Distribución: esta etapa realiza la transformación a nivel de utilización, tanto por los trenes como por los usuarios. El sistema debe cumplir las necesidades de energía relativas a:
  - La tracción: potencia requerida para la operación de todo el material rodante sobre la línea.
  - La baja tensión, que comprende: Las instalaciones del sistema operativo de la línea principal y de patios y talleres: señalización, telecomunicaciones, mando, control, supervisión, etc. Los servicios auxiliares de las estaciones, de los edificios los patios y talleres, y del túnel: iluminación, sistemas electromecánicos, ventilación forzada, aire acondicionado, extinción de incendios, etc.

#### 6.2.2.4 Frenado Regenerativo de los Trenes

El frenado regenerativo es un sistema que permite recuperar parte de la energía cinética que se pierde cuando un tren frena. En lugar de disipar la energía en forma de calor a través de los frenos convencionales, el frenado regenerativo transforma la energía cinética en energía eléctrica que puede ser devuelta a la red eléctrica o almacenada para su uso posterior.

El proceso de frenado regenerativo en los trenes del Corredor Férreo del Sur debe funcionar de la siguiente manera:

Cuando un tren necesita reducir su velocidad o detenerse, el sistema de control del tren debe activar el frenado regenerativo.

Los motores de tracción, que normalmente consumen energía para mover el tren, ahora deben funcionar como generadores eléctricos.

La energía cinética del tren en movimiento se convierte en energía eléctrica a medida que los motores de tracción funcionan como generadores. Este proceso genera una fuerza de frenado electromagnética que ralentiza el tren.

La energía eléctrica generada se envía de vuelta a la red eléctrica a través de la catenaria, donde puede ser utilizada por otros trenes en del Corredor Férreo o por otros sistemas eléctricos en la infraestructura ferroviaria.

La energía recuperada también puede ser almacenada en baterías o supercondensadores a bordo del tren para su uso posterior, como en el arranque o durante las operaciones de baja velocidad. Esto dependerá de la tipología del Material Rodante seleccionado.

El frenado regenerativo no solo mejora la eficiencia energética del sistema ferroviario, sino que también reduce el desgaste en los componentes mecánicos de frenado, lo que resultará en menores costos de mantenimiento y mayor vida útil de los componentes.

En el diseño del Sistema de Frenado Regenerativo del Corredor Férreo del Sur, inicialmente se deben tener en cuenta las características del Material Rodante que se utilizará en el sistema. Asumiendo que se prevé un tren de siete vagones, de 150 metros de longitud, con una capacidad máxima de 1800 pasajeros, una velocidad máxima de diseño de 100 km/h y todos los parámetros de gran importancia establecidos en el componente de “Propuesta de Tipología y Dimensionamiento del Material Rodante” en el apartado 8 de este documento, se puede proceder de la siguiente manera:

**Selección de motores de tracción:** se deben seleccionar motores de tracción adecuados que permitan funcionar tanto en modo motriz como en modo generador. Estos motores deben ser compatibles con el voltaje y la corriente de la catenaria (1500 Vcc) y tener una capacidad adecuada para mover el tren a la velocidad máxima requerida.

**Integración del sistema de control de tracción:** es necesario implementar un sistema de control de tracción que permita gestionar el funcionamiento de los motores tanto en modo motriz como en modo generador, y que controle la transición entre estos dos tipos de funcionamiento de manera eficiente y segura.

**Diseño del sistema de almacenamiento de energía (opcional):** Si se desea almacenar la energía regenerada a bordo del tren, se pueden instalar baterías o supercondensadores. Estos dispositivos de almacenamiento deben ser capaces de manejar la carga y descarga de energía a las tasas requeridas durante el frenado y la aceleración del tren. El sistema de control de tracción debe ser capaz de gestionar la carga y descarga de los dispositivos de almacenamiento de energía de manera eficiente y segura.

**Integración con la red eléctrica:** Para devolver la energía regenerada a la red eléctrica, se debe diseñar un sistema de conexión que permita transferir la energía desde los motores de tracción en modo generador a la catenaria. Este sistema debe ser compatible con los estándares y regulaciones en cuanto a la calidad de la energía y la protección de los sistemas eléctricos. En el contexto del frenado regenerativo en trenes, los estándares de calidad de la energía pueden aplicarse de las siguientes maneras:

- **Compatibilidad electromagnética (EMC):** La generación y la inyección de energía eléctrica en la red durante el frenado regenerativo pueden causar interferencias electromagnéticas. Los estándares como IEC 61000 ayudan a garantizar que los sistemas de trenes y la infraestructura de energía funcionen de manera eficiente y sin interferencias perjudiciales.
- **Distorsión armónica:** El proceso de frenado regenerativo puede generar armónicos, que son desviaciones de la forma de onda sinusoidal ideal de la corriente y el voltaje. Estos armónicos pueden afectar negativamente la calidad

de la energía y el funcionamiento de otros equipos eléctricos. Estándares como IEEE 519 y EN 50160 establecen límites para la distorsión armónica, lo que ayuda a garantizar que la energía regenerada inyectada en la red tenga una calidad aceptable.

- Estabilidad y calidad de la tensión: Durante el frenado regenerativo, la energía eléctrica generada debe cumplir con los requisitos de tensión y estabilidad de la red eléctrica. Los estándares de calidad de la energía, como EN 50160, establecen las características y tolerancias de tensión requeridas para garantizar la compatibilidad y el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos interconectados.

**Diseño de los sistemas de protección y seguridad:** Para garantizar la seguridad de los pasajeros y del personal operativo ferroviario, es necesario diseñar e implementar sistemas de protección y seguridad que monitoreen y controlen el funcionamiento del sistema de frenado regenerativo. Esto incluye la supervisión de las condiciones de los motores, la carga y descarga de los dispositivos de almacenamiento de energía y la protección contra fallas eléctricas o mecánicas.

Una vez diseñados e implementados estos componentes, se debe realizar una validación y pruebas del sistema de frenado regenerativo en condiciones reales de operación para garantizar su correcto funcionamiento y eficiencia energética.

#### 6.2.2.5 Cálculo del Frenado Regenerativo de los Trenes

El frenado regenerativo para los trenes del Corredor Férreo del Sur ha sido calculado mediante el Software RailTraffic que simula la energía consumida de un tren, teniendo como inputs lo siguiente:

- Peso del Tren
- Aceleración
- Velocidad Comercial
- Velocidad Máxima de Diseño
- Resistencia al Avance
- Curvas del Corredor
- Gradientes de Corredor
- Distancia entre las estaciones

Estos valores son detallados en el apartado 8. Propuesta de Tipología del Material Rodante y en el documento del Componente de Diseño Geométrico Férreo Doc N° 4. CAC-SGC-DGF-INF.PAS-1-v1 (se anexa a este documento). Introducidos estos datos se tienen los siguientes resultados:

**SERVICE RESULTS** VI COMPLETO

Length: 22,955 Km    Running Time: 31' 17"    Average Speed: 44,03 Km/h    Coasting Speed: - Km/h

Traction Energy: 521,16 kWh    Aux Energy Consum: 166,93 kWh    Regenerated Energy: 399,59 kWh    Net Energy Consumption: 288,5 kWh

Distance	KM Point	Speed (km/h)	Time (s)	Force (kN)	Pneumatic Braking (kN)	Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	Supplied Power (kW)	Regenerated Power (kW)
0,000	0,150	0,00	0	0,00	0,00	0,00000	320,00	0
0,000	0,150	3,24	1	354,75	0,00	0,90000	639,28	0
0,002	0,152	6,48	2	354,86	0,00	0,90000	958,74	0
0,004	0,154	9,72	3	354,99	0,00	0,90000	1.278,47	0
0,007	0,157	12,96	4	355,14	0,00	0,90000	1.598,51	0
0,011	0,161	16,20	5	355,32	0,00	0,90000	1.918,95	0
0,016	0,166	19,44	6	355,52	0,00	0,90000	2.239,83	0
0,022	0,172	22,68	7	355,75	0,00	0,90000	2.561,23	0
0,029	0,179	25,92	8	356,00	0,00	0,90000	2.883,22	0
0,036	0,186	29,16	9	356,28	0,00	0,90000	3.205,86	0
0,045	0,195	32,40	10	356,58	0,00	0,90000	3.529,21	0
0,054	0,204	35,64	11	356,90	0,00	0,90000	3.853,34	0
0,065	0,215	38,88	12	357,25	0,00	0,90000	4.178,32	0
0,076	0,226	42,01	13	345,44	0,00	0,86839	4.350,69	0
0,088	0,238	44,90	14	320,50	0,00	0,80272	4.316,95	0
0,101	0,251	47,59	15	300,26	0,00	0,74927	4.289,58	0

Figura 29 Captura de Pantalla del Sw RAILTRAFFIC

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia 2023

En la imagen de resultados del simulador se observa que a medida que el tren avanza progresivamente se obtienen resultados de consumo de energía, si el tren se encuentra en proceso de frenado los resultados estarán en la columna de “Regenerated Power (kW)” cada fila representa un segundo de tiempo. Al finalizar la simulación el Software entrega resultados de media.

#### 6.2.2.6 Datos Específicos de carga del Corredor Férreo del Sur

Mediante simulaciones realizadas con el Software RailTraffic desarrollado por la empresa Ardanuy, se han conseguido estimaciones muy cercanas a las necesidades de la potencia de suministro, partiendo del dato de consumo de energía de un tren que recorre la línea de extremo a extremo.

A partir del conocimiento del valor de consumo de un tren, es posible proyectar el consumo de energía de la máxima cantidad de trenes que circulan por la línea simultáneamente, este dato se obtiene de los estudios del componente de operaciones, que describe la siguiente tabla:

Cantidad de Estaciones	18
Cantidad Máxima de Trenes Circulando Simultáneamente	29
Cantidad Máxima de Trenes Necesarios	34
Cantidad Máxima de Pasajeros por Tren	1800
PPHPD	43200

Velocidad Máxima del Tren	80km/h
Velocidad Comercial	42,87km/h
Tiempo de Parada en Estaciones	20s
Tiempo de Parada en Terminales	40s
Tiempo especial de parada en interconexión con otros sistemas	30s
Intervalo mínimo	2min 30s
Tiempo de Vuelta	62 min 40s

**Tabla 2 Resultados del componente de Operaciones Ferroviarias**

El valor obtenido de la simulación del recorrido de un tren desde la estación 1 hasta la estación 18 en un solo sentido como media de una hora es 295.5KW/h  $\approx$  300KW/h. Como se muestra en la figura.



**Figura 30 Resultados de Simulación**

Fuente: Simulador RailTraffic

Se considera como la condición más desfavorable o el consumo de energía a plena carga, cuando todos los trenes circulan simultáneamente en la línea.

La línea puede soportar un máximo de 29 trenes circulando al mismo tiempo, pero para una referencia más útil, se debe tener en cuenta la cantidad de trenes que pueden circular en una hora. Según las simulaciones, pueden circular 48 trenes por hora, utilizando el intervalo más pequeño que es a 2.5 minutos, como se puede ver en la imagen de la malla horaria en el componente de Operaciones Ferroviarias.

Entonces, el valor máximo en consumo de energía en una hora puede ser: 14,4MW/h.

Para obtener el Consumo de Energía Total del Sistema, a este resultado es necesario añadirle el consumo de energía de:

- Los trenes que circulan en Patio Taller (20% de la energía de la Línea).
- Los Talleres.
- Las estaciones, considerando bombas, ventilación forzada, iluminación, ascensores, escaleras mecánicas y otros.
- Los diferentes edificios administrativos
- El Centro de Control de Operaciones.
- Al total obtenido se le estima un 25% de holgura requerida como sobrecarga.

Este valor resultante debe distribuirse entre las diferentes subestaciones propuestas para el Corredor Férreo del Sur.

La estimación de los requisitos de baja tensión toma en cuenta las hipótesis siguientes:

- Las estaciones subterráneas consumen una potencia media de 200 kW/h cada una. En total 3.6MW/h.
- Se ha considerado un pozo de ventilación entre todas las estaciones enterradas, con un consumo de 110 kW/h cada uno, en total son 34 pozos (3.8kW/h).
- El patio taller consume una potencia máxima de 3000 kW/h (3MW/h).
- Los Edificios administrativos y el CCO consumen una potencia de 2000kW/h (2MW/h)

Todas las hipótesis arriba deben ser validada en las próximas etapas del proyecto.

En total se estima un consumo general aproximado a 30MVA considerando un factor de potencia de 0.9.

### **6.2.2.7 Sistema de Control de la Energía**

Una vez conocidos los sistemas de electrificación ferroviarios, y los principales elementos que integran las subestaciones de tracción y la línea aérea de contacto, en este tema vamos a tratar otras instalaciones que, o bien se integran como parte de estos, o de alguna manera están vinculadas al suministro de energía a lo largo del Corredor Férreo del Sur.

El telemando de energía es el que, entre estos sistemas, cumple con la función más relevante, ya que el objeto de esta instalación es la de permitir el control y la supervisión a distancia de ambos subsistemas eléctricos, subestaciones y catenaria, desde el Centro de Control de Operaciones. El operador, desde lo que se conoce como el puesto central de telemando, recibe información en tiempo real del estado de una selección de elementos del sistema de electrificación, pudiendo tanto visualizar como maniobrar los equipos integrados en el telemando, según las necesidades de explotación o el estado del sistema.

Otro sistema, en este caso, para mejorar las protecciones y gestión de seguridad de las subestaciones de tracción y la catenaria, es el gestor de protecciones. Este elemento se incluye en algunas subestaciones con el objeto integrar de manera conjunta el estado de cada uno de los elementos que participan en la electrificación ferroviaria y que dependen de las subestaciones de tracción, con el objeto de evitar situaciones en la que la configuración de las distintas instalaciones de las subestaciones pudiera suponer un riesgo entre ellas mismas.

Por otro lado, se encuentran las instalaciones auxiliares dispuestas a lo largo de la vía, entre las cuales se pueden mencionar como elementos principales, la ventilación forzada, los sistemas de alumbrado de túneles y acometidas a otras instalaciones y edificios técnicos para comunicaciones, antenas u otros usos.

## **6.2.3 SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN Y CONTROL**

### **6.2.3.1 ALCANCE DEL SISTEMA**

Para la Estructuración de la Etapa IV Profundización de la alternativa seleccionada de los Estudios de Prefactibilidad para el Corredor Férreo del Sur, en el departamento Cundinamarca y la Bogotá Región, es necesario analizar los diferentes Sistemas de Señalización y Control de Trenes que fueron estudiados en la Etapa II RAI en el Oficio N°CAC-P1674-07 y que se encuentren acorde a las necesidades previstas para este proyecto en el nivel de estudios de prefactibilidad.

El sistema propuesto garantiza una correcta y segura circulación de trenes, basado en los más altos Estándares Internacionales de Seguridad para Sistemas Ferroviarios, así mismo aplicar los criterios normativos para las evaluaciones de los Niveles de Integridad de Seguridad (SIL) en proyectos ferroviarios de pasajeros de tipo Metro. Se presentará también la evaluación del grado de automatización necesario para sistemas de trenes de pasajeros, ordenadas en función de la participación del factor humano y de su complementación por parte de sistemas automáticos.

Se mencionan las instalaciones de seguridad necesarias para la operación de la vía férrea, como Enclavamientos, Sistemas de Señalización y Telemando, Sistema de Protección de Trenes y otros datos de interés de las instalaciones.

El Corredor Férreo del Sur está diseñado para ser un Sistema de tipo Metro pesado, con una longitud de 23.141 km conformado por 18 estaciones, con el objetivo principal el de transportar de pasajeros en el tramo Bogotá – Soacha, como se describe el apartado 4 Localización del Proyecto, de este documento.

El sistema de señalización y control de trenes del Corredor Férreo del Sur, es prediseñado para cumplir, como mínimo, con los objetivos siguientes:

- Garantizar la seguridad de los viajeros y el personal de operación del sistema férreo.
- Ofrecer sistemas con confiabilidad y disponibilidad robusta.
- Conocer la posición de los trenes de forma segura.
- Garantizar la seguridad en la circulación de los trenes.
- Disponer de forma segura de los elementos de la vía y su información en el CCO o Puestos Locales de Operación.
- Permitir y garantizar la protección de las circulaciones en las zonas de maniobras, tales como comunicaciones o conexiones.
- Garantizar una distancia segura entre los trenes con el fin de evitar que se alcancen entre sí en una misma vía cuando estos transitan en un mismo sentido.
- Controlar las circulaciones contrarias sobre una misma vía, vía única o banalizada permitiendo maniobras de cruzamiento entre trenes de forma segura.
- Evitar el descarrilamiento por exceso de velocidad.
- Optimizar de la explotación

#### **6.2.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Verificar la aplicación de las Normas para un Sistema de Señalización y Control de Trenes en un Sistema de Transporte Férreo de pasajeros de Tipo Metro.
- Recomendar el Grado de Automatización para la conducción de trenes de pasajeros, en función de la participación del factor humano.
- Presentar los requisitos o exigencias mínimas funcionales del Sistema de Señalización aplicables al Sistema Férreo de transporte Metro.

- Estimar una arquitectura general del sistema de Señalización a instalar en cuanto a control y comunicaciones se refiere.
- Identificar las interfaces del Sistemas de Señalización con otros sistemas y subsistemas.

### 6.2.3.3 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Los sistemas, subsistemas y/o equipamiento correspondiente al Sistema de Señalización y Control del Tren, a ser definidos en el proyecto a nivel de prefactibilidad del Corredor Férreo del Sur, se prevén estar estructurados bajo el máximo nivel de seguridad SIL-4, y deberán cumplir con todos los estándares aplicables en las normas EN 50126, EN 50128, EN 50129 y EN 50159, que fueron descritas en el documento de Recopilación y Análisis de Información CAC-SGS-FER-INF.RAI-1-v.3 Ing. Ferroviaria, en el apartado de Señalización y Control de Trenes.

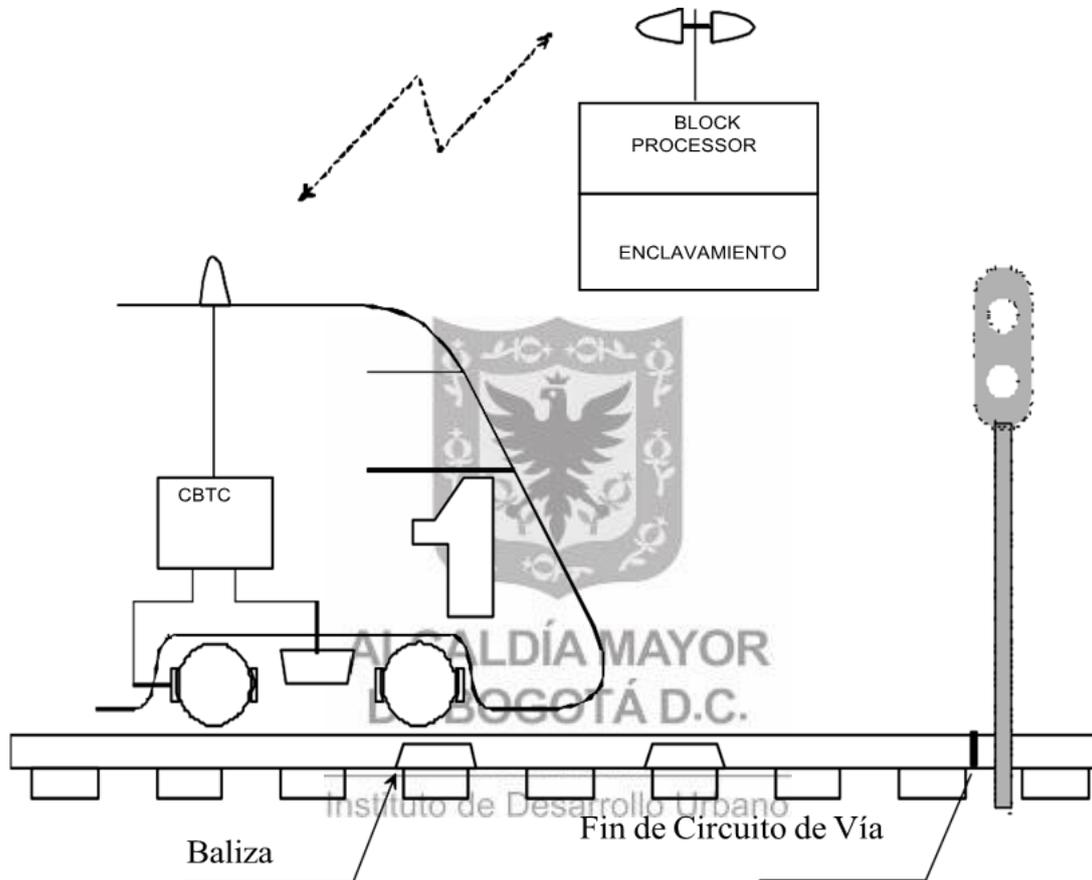
Para el Sistema de Pilotaje Automático de los trenes del Corredor Férreo de Sur, se propone un Sistema del tipo CBTC (*Communications Based Train Control*) ideal para sistemas de transporte de pasajeros de tipo Metro. El CBTC está basado en una comunicación bidireccional de transmisión por radio entre la vía y los trenes y proporciona múltiples beneficios en cuanto a seguridad, confort y velocidad, a su vez ofrece intervalos cortos de tiempo entre trenes, ideal para satisfacer la demanda de usuarios del Corredor Férreo del Sur presentada por la disciplina de Transporte en el documento CAC-SGC-GEN-TRA-1-v.0 capítulo 1.2.1.2 Intervalo de despacho “*El intervalo para estos escenarios de modelación fue calculado con base en los resultados de la etapa anterior, dando como resultado un intervalo de 3 minutos para los trenes regionales y de 2.5 minutos para las alternativas de metro pesado*”.

La aplicación de comunicaciones por vía radio bidireccional, permite un intercambio de información en tiempo real entre los trenes y todo el equipamiento fijo que se ubica en vía, que 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 (odómetros, balizas de localización, antenas, etc.). Esta posición es transmitida periódicamente desde cada tren al sistema central ATC (Automatic Train Control). El ATC conoce la posición, integridad de trenes y el estado de la vía y responde a cada tren con una autorización de movimiento (MA). 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. El sistema CBTC estará basado en un principio de cantón móvil real más acantonamiento fijo, que garantiza el máximo rendimiento global del sistema de transporte, tanto en CBTC como en operación degradada.

Todo el equipamiento de un sistema CBTC está basado en una plataforma hardware/software fail/safe (falla segura) especialmente desarrollada para aplicaciones de sistemas de transporte férreo, por lo general de tipo Metro, que necesitan una operación segura y vital en tiempo real.

Los elementos fundamentales que integran el sistema CBTC son el ATP/ATO embarcado, el enclavamiento electrónico, el equipamiento de vía (balizas, señales, circuitos de vía, cambiavías) y el Block Processor de Vía, observar la siguiente figura:



**Figura 31 Elementos Fundamentales CBTC.**

Fuente: Web

#### 6.2.3.3.1 Equipamiento de vía

El principal objetivo de los equipos de vía es suministrar a los trenes las Autorizaciones de Movimiento (MA) necesarias para permitir una marcha segura dentro del área que está bajo la responsabilidad de los equipos de vía CBTC. En la vía, se utilizan las Balizas para determinar y actualizar la posición del tren.

Este subsistema se encargará de realizar las siguientes funciones:

- Tener localizado a cada tren equipado con CBTC a través del sistema de radio.
- Determinar para cada tren individualmente, su MA de acuerdo con su localización y la del tren precedente, la ocupación de los circuitos de vía, las rutas establecidas y las restricciones por infraestructura.

- Enviar a cada tren individualmente el límite de su MA, junto con las características de la vía (perfiles de velocidades, gradientes, zonas de puertas, etc.).
- Manejar la gestión de control entre enclavamientos en las zonas de fronteras (Handover).
- Enviar a cada tren la información de conducción necesaria requerida para la operación del sistema (órdenes de marcha, puntos de parada, saltos de estación en programa PNP (Programa No Para), etc.
- En operación degradada, cuando no existe comunicación o avería de CBTC se realiza el Control de los trenes y/o vehículos ferroviarios a través de la ocupación de Circuitos de Vía físicos mediante el Sistema ATP.
- Recibir informaciones de los trenes, tales como, el modo de conducción, el número de identificación del tren (Nº Material Rodante), el estado del vehículo.
- Enviar la información a las señales en vía.

El equipamiento de vía de un sistema CBTC, permitirá generar las autorizaciones de movimiento, siendo estas enviadas por vía radio a cada tren individualmente junto con las características de la vía para generar un establecimiento de ruta segura para el movimiento de los trenes, siendo esta información recibida por los enclavamientos electrónicos del sistema, que se encontrarán ubicados en los cuartos técnicos distribuidos a lo largo del Corredor Férreo del Sur.

#### 6.2.3.3.2 Enclavamiento

MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

Es el componente del sistema de señalización en vía que establece el bloqueo y liberación de rutas, ordenando por medio de la señalización la velocidad permisiva en cada punto para permitir o impedir el uso de esas rutas con el fin de posibilitar la circulación de los trenes de forma segura.

Este tipo de equipamiento es indispensable para que puedan circular trenes entre todas estas instalaciones, manteniendo las condiciones de seguridad requeridas. Por lo tanto, es necesario que se establezca un intercambio de información para que sea posible y concreto lo citado a continuación:

- Impedir realizar circulaciones sobre la misma vía en direcciones contrarias simultáneamente.
- No permitir el acceso de dos trenes al mismo tramo de vía.
- Realizar circulaciones de trenes bajo la vigilancia del sistema de señalización lateral convencional (señales) y protección mediante los códigos de velocidad ATP inyectados en cada circuito de vía.

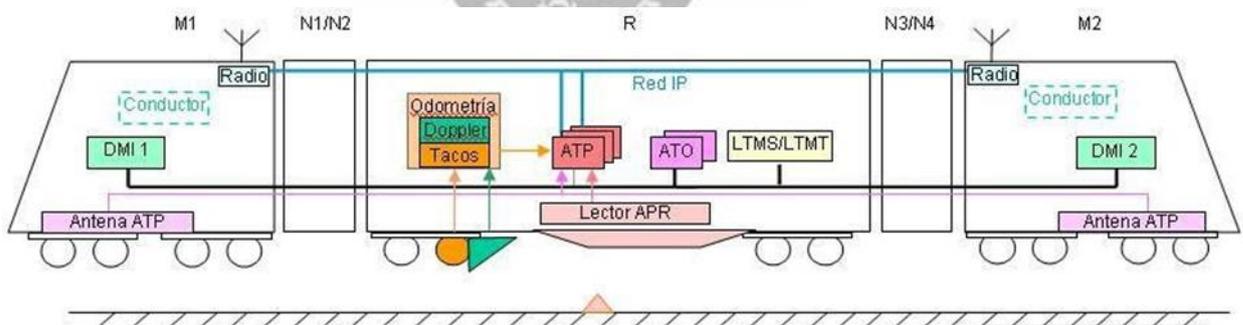
Las velocidades máximas del tren que asigne el sistema ATP se gestionarán por tramo según las características de la geometría de la vía (curvas, peraltes, pendientes, prioridad de paso por intersecciones) y de acuerdo con esto se asignarán los códigos de ATP (telegramas) según corresponda.

El Sistema ATP por códigos de velocidad será un sistema alternativo para operación degradada, sin embargo, este sistema constituye en sí mismo una protección continua y completa del tren, basado en el envío de la información de protección al tren a través de los rieles. Y funciona como sistema de respaldo para el CBTC, esto significa que en caso de fallar CBTC la supervisión del tren pasa a realizarla el sistema alternativo ATP por códigos de velocidad. Es decir, un Sistema Semiautomático.

#### 6.2.3.3.3 *Equipamiento Embarcado*

El equipo a bordo del tren se encarga de proporcionar una supervisión continua de la velocidad y posición del tren para evitar que se rebase la autoridad de movimiento que le ha entregado el equipo de vía a través de los telegramas emitidos por los enclavamientos instalados a lo largo del corredor férreo. Los equipos CBTC supervisan el movimiento automático del tren en el que están instalados según la información intercambiada con el subsistema de Vía.

En el siguiente esquema se muestran, de forma genérica, los principales componentes y configuración del subsistema embarcado:



**Figura 32 Componentes Sistema Embarcado CBTC.**

Fuente: Web

Estos componentes son:

- Equipo ATP (Automatic Train Protection), supervisa el movimiento del tren.
- Equipo ATO (Automatic Train Operation), permite la conducción automática del tren.
- DMI o HMI (Driver Machine Interface), interfaz hombre – máquina.
- Equipo LTMS (Local Train Maintenance System), para operaciones de mantenimiento.
- Sistema de radio, para comunicaciones con equipamiento de vía
- Medidor de Velocidad y/o sensores Dopplers (odometría).
- Antenas de ATP (para el sistema de respaldo).

- Lector de balizas.

Los equipos ATP, ATO, DMIs y LTMS se comunican internamente a través de una red de comunicaciones principal del tren, administrada únicamente por el sistema de señalización.

El sistema de radio del equipo embarcado y del equipo de vía corresponden al mismo hardware con la finalidad de garantizar una comunicación rápida y estable, se diferencian en el tipo de configuración interna, se presentarán también diferencias físicas en el equipo abordo debido a que debe tratarse de un equipamiento especial diseñado para esta función, es decir, se agregan algunos elementos adicionales como interfaz adecuada para conexión con el elemento integrador abordo (switch o conmutador) además debe ser un elemento de tipo modular para garantizar su ubicación segura dentro del espacio destinado para este.

#### 6.2.3.3.3.1 Funciones del CBTC Embarcado

Las funciones principales de los equipos embarcados, diferenciando entre equipo ATP y ATO son:

##### ATP

- Lectura de balizas para localización, el tren tomará la información de localización suministrada por las diferentes balizas y la transmitirá al equipamiento en vía (enclavamientos) por vía radio.
- Recepción, vía radio, de la autoridad de movimiento, así como de las características de la vía (perfiles estáticos, gradientes, plataformas de estación).
- Cálculo de perfiles de velocidad (curvas de frenado o tracción) estáticos y dinámicos.
- Supervisión de la velocidad y localización del tren para que no se supere la velocidad máxima en todo momento y aplicación de los frenos de emergencia y servicio cuando sea necesario.
- Habilitación segura de la apertura de puertas del lado correcto, de acuerdo con la ubicación de la plataforma de la estación (andén central o andén lateral) cuando se circula en señalización CBTC (modo AUTO).
- Gestión de los modos de conducción y transición entre sistema de señalización CBTC y ATP.
- Interpretación de los códigos de vía de ATP, transformándolos en una velocidad máxima y objetivo. Esta información de los códigos de vía se visualizará en el DMI del Tren, traducidos para ser interpretados por el conductor, quien visualizará su velocidad real, la velocidad máxima permitida y la velocidad objetivo.

##### ATO

- Lectura de balizas para posicionamiento. El tratamiento de la posición del ATO es diverso respecto al ATP.
- Recepción de la autoridad de movimiento, desde el ATP de vía, así como de las características de la vía (perfiles estáticos, gradientes, zonas de puerta). El tratamiento de la autorización de movimiento del ATO difiere al de ATP.
- Cálculo de perfiles de velocidad estáticos y dinámicos. El tratamiento de los perfiles del ATO es diverso respecto al ATP. Los perfiles de ATO son más restrictivos.
- Supervisión de la velocidad y localización del tren. Cuando el modo de conducción es AUTO, el equipo ATO supervisa, de manera totalmente diferente al ATP, que la velocidad del tren no supere los perfiles de velocidad máxima enviados desde el equipo de vía, en caso de superarse aplica máximo freno de servicio.
- Calcula la localización del tren, de forma independiente al ATP.
- Conducción de acuerdo a las consignas recibidas desde el ATS.
- Habilitación/Permiso de apertura de puertas del tren, de forma diversa al ATP. Se realizará cuando se consiga una parada de precisión en la plataforma o andén, dentro de la zona de habilitación de apertura de puertas del tren.
- Parada de precisión de estaciones.
- Señalización en cabina (basadas en interfaces gráficas que se visualizarán en el DMI del tren).
- Circulación autorizada únicamente si todas las puertas están cerradas y encerrojadas (función de enclavamiento de puertas que anula o inactiva la tracción del tren).
- Permitir el franqueamiento en seguridad de una estación sin servicio de apertura de puertas (PNP).
- Circulación en contrasentido autorizado en situaciones de contingencia.

#### 6.2.3.3.3.2 El HMI de Tren o DMI

A nivel funcional, el DMI a través de una interfaz, enviará al ATP/ATO toda aquella información relacionada con la actuación del conductor sobre la interface de conducción (selección de modo, reconocimientos, diferentes actuaciones sobre los pulsadores, etc.). En el otro sentido de la comunicación, el ATP/ATO proporcionará al DMI toda aquella información especificada para ayudar al conductor a realizar una conducción más segura y efectiva.

#### 6.2.3.3.3.3 Radio CBTC

Debe habilitarse un módulo de radio CBTC con sus correspondientes antenas en cada cabina de la unidad de tren. A nivel funcional, a través de estos radios, se recibirá del

equipamiento de vía (enclavamiento) el movimiento autorizado (MA) junto con las características de la vía, para que el tren se pueda mover cuando se circule en modo CBTC. A su vez el tren envía la información de su posición a través del radio de datos al equipamiento de vía para que actualice su autoridad de movimiento en tiempo real.

Generalmente estos radios trabajan con un rango de frecuencias de 2,4 a 2,4835 GHz generalmente y un ancho de banda: 18 MHz con una velocidad de transmisión de hasta 11 Mbits/s, suficiente para el envío y recepción de datos en tiempo real.

#### 6.2.3.3.4 Sistema alternativo de ATP por códigos de velocidad

El Sistema Alternativo, ATP por Códigos de Velocidad, constituye en sí mismo un sistema continuo completo de protección de tren, basado en el envío de la información de protección al tren a través de los rieles.

Además, sirve como sistema de respaldo para el sistema CBTC. Esto significa que en caso de fallar CBTC, la supervisión del tren pasa a realizarla el Sistema Alternativo de ATP por Códigos de Velocidad. En este caso de avería CBTC el conductor deberá realizar la selección de modo de conducción a modo ATP a través del selector ubicado en la cabina del tren destinado para tal fin.

#### 6.2.3.4 NIVEL DE INTEGRIDAD DE SEGURIDAD (SIL)

El desarrollo de sistemas para la industria ferroviaria debe ser llevado a cabo con ciertas premisas relativas a la seguridad, tratando de identificar los riesgos para controlarlos y llevarlos a un nivel aceptable. Los requisitos de seguridad pueden ser cuantitativos o cualitativos. En algunas áreas, tales como el software, donde se pueden producir fallas sistemáticas, las buenas prácticas de ingeniería señalan que para cumplir con los requisitos de integridad se deben establecer y aplicar adecuados niveles de Integridad de la Seguridad (SIL).

Existen técnicas estandarizadas para evaluar y controlar el riesgo derivado de las fallas aleatorias. El riesgo derivado de las fallas sistemáticas se controla, en distintas actividades de la ingeniería, a través de la comprobación rigurosa y la aplicación de normas, códigos y del uso de las buenas prácticas generalmente aceptadas. Sin embargo, como la complejidad de los diseños aumenta, las fallas sistemáticas contribuyen, en una mayor proporción, en el incremento del riesgo. Para el software, todas las fallas son sistemáticas. En el software y algunas otras áreas donde los diseños pueden ser particularmente complejos, tales como el diseño de la electrónica, las mejores prácticas actuales aconsejan hacer uso de niveles de Integridad de la Seguridad para controlar dichas fallas sistemáticas.

Los niveles SILs se describen en la serie de normas IEC 61508, ampliamente utilizadas en el desarrollo de software crítico. Además, específicamente para la industria ferroviaria, las normas EN 50128 y EN 50129 definen los sistemas o partes de sistemas para los cuales es aplicable el uso de los SILs. Los SILs representan diferentes niveles de rigurosidad en el proceso de desarrollo. Se definen cinco niveles, que van desde SIL 4, el más riguroso, al SIL 1, el menos riguroso. Las funciones que no se basan en los SILs para controlar el riesgo, pueden ser descritas como SIL 0. Cada nivel de Integridad se asocia con una probabilidad de falla. En la Tabla se muestra la probabilidad de falla para cada uno de los SILs, de acuerdo con la norma IEC 61508.

Modo de Operación de baja demanda (probabilidad de falla en la demanda)	Modo de Operación de Continua / Alta demanda (tasa por hora de falla peligrosa)	Nivel de Integridad de Seguridad (SIL)
$\geq 10^{-5}$ a $10^{-4}$	$\geq 10^{-9}$ a $10^{-8}$	4
$\geq 10^{-4}$ a $10^{-3}$	$\geq 10^{-8}$ a $10^{-7}$	3
$\geq 10^{-3}$ a $10^{-2}$	$\geq 10^{-7}$ a $10^{-6}$	2
$\geq 10^{-2}$ a $10^{-1}$	$\geq 10^{-6}$ a $10^{-5}$	1

**Figura 33 Niveles SIL.**

Fuente: CENELEC 50126

### 6.2.3.5 GRADO DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA CONDUCCIÓN DE TRENES

Se encuentra definido en la Norma Internacional IEC 62290-1 la descripción de GoA (Grade of Automation, en español Grado de Automatización) o nivel de automatización para facultar un lenguaje común y evitar la referencia y combinaciones de las siglas y definiciones “ATP, ATO”, de acuerdo con esto, está establecido cinco grados de automatización que se mencionan a continuación:

- **GoA 0:** Operación sin señalización o “Marcha a la vista”. El maquinista es completamente responsable del tren y no hay sistema alguno que supervise la circulación, se puede ver ayudado por un sistema que le informe del estado de las rutas y posiciones de las agujas mediante señales luminosas o semáforos en la vía.
- **GoA 1:** Operación “Marcha a la vista con señalización”. El maquinista sigue siendo completamente el responsable de la operación del tren, acelera y frena, pero se ve supervisado por un sistema de protección (ATP) para evitar el rebase de señales en rojo y proteger en todo momento un posible rebase de la velocidad máxima estipulada por el sistema de protección.
- **GoA 2:** Operación “Semiautomática y Automática con Conductor”. El conductor tendrá la responsabilidad del cierre de puertas del tren, (tratándose de un sistema metropolitano) iniciando la marcha en las estaciones conforme al tiempo de parada y horario establecidos, y detiene el tren en caso de observar alguna situación de peligro. Actuando con ATO, desde que el operador del tren pulsa el comando de cierre de puertas la operación es automática, el vehículo acelera y frena automáticamente, según los parámetros que ofrece la vía o el sistema de Señalización y Control Automático de Trenes. La velocidad está en todo momento controlada por el sistema de protección (ATP).

- **GoA 3:** Operación “Sin conductor, pero con agente a bordo o Driverless”. No hay conductor como tal a bordo y toda la operación es automática (ATP/ATO) si bien se cuenta con la presencia de un asistente a bordo del tren para hacer frente a situaciones degradadas y guiar a los pasajeros en emergencias.
- **GoA 4:** Operación “Completamente automática” No hay personal a bordo y toda la operación se efectúa por los sistemas, incluyendo la detección y gestión de circunstancias peligrosas.



**Figura 34 Representación de grados de automatización.**

La definición de la operación de la línea incluyendo Patios y Talleres impacta directamente en los niveles de automatización de la línea y concretamente en la elección del Sistema de Control de Trenes.

Las implicaciones en los niveles de automatización de los sistemas en Líneas de tipo Metro sin conductor de tren son muy exigentes. Los criterios de disponibilidad, fiabilidad y seguridad son muy restrictivos, pero garantizan un menor coste de operación.

En el diseño de una línea sin conductores deben considerarse otros sistemas vitales como sistemas de protección a los viajeros en los andenes, sistemas de comunicaciones embarcados en tiempo real, detectores de obstáculos en los trenes, entre otros.

La conducción Automática bien sea con conductor o sin conductor, implica una mejora en la optimización del servicio y del sistema ATP, un ahorro de energía y una precisión de frenado en confort en el punto de parada de cada estación, que permite mejorar la calidad del servicio reduciendo el intervalo operativo, incrementando la velocidad media del tren, ahorrando energía y ofreciendo disponibilidades en torno al 99,9%

La automatización de la operación del Corredor Férreo del Sur permite maximizar la eficiencia y reducir los costos de operación. Es por ello que se ha planteado la implementación de un grado mínimo de automatización GoA 3 y un grado máximo de GoA 4.

El grado de automatización GoA 3 implica una operación en la que el tren se conduce automáticamente, pero aún requiere de la presencia de un conductor humano para supervisar el funcionamiento del sistema y tomar el control del tren en caso de emergencia. Este nivel de automatización se utiliza comúnmente en sistemas de metro y ferrocarriles urbanos de alta capacidad, y permite una mayor eficiencia y frecuencia de los servicios.

Por otro lado, el grado de automatización GoA 4 implica una operación totalmente automatizada, en la que no se requiere la presencia de un conductor humano a bordo

del tren. En este nivel, el tren es capaz de operar de forma autónoma, tomando decisiones en tiempo real sobre la velocidad, la aceleración y el frenado en función de las condiciones de la vía y del tráfico.

La operación principal para ambos casos será una conducción automática del tren en CBTC, que es un sistema avanzado de control de trenes que utiliza tecnología de comunicación inalámbrica para gestionar la circulación de los trenes en la línea. Esto permitirá una mayor precisión en la gestión del tráfico, y una mayor seguridad en la operación. La implementación de cualquiera de estos niveles de automatización permitirá maximizar la eficiencia y reducir los costos de operación, lo que se traducirá en una mejora en la calidad del servicio y en una mayor satisfacción de los usuarios.

### **GoA 3**

Operación de tren Driveless

Cuenta con sistema full de ATO y ATP.

Es necesario personal abordo en el tren para soporte de las operaciones ante un imprevisto y para la atención de pasajeros de ser necesario.

#### **Ventajas:**

- Mayor flexibilidad en la programación y operación de los trenes.
- Menores costos iniciales de implementación.
- Requiere menos cambios en la infraestructura y en los trenes.
- El personal dentro del tren puede moverse libremente por el tren, es decir, no es necesario que este siempre en cabina para detectar los peligros durante la operación.
- Los peligros deben poder ser atendidos de manera remota para evitar la necesidad de vigilancia del operador del tren en la cabina de control o estos ser detectados por sistemas complementarios.

#### **Desventajas:**

- Mayor potencial de error humano en la operación del tren.
- Mayor posibilidad de demoras o interrupciones en el servicio debido a factores humanos.
- Mayor costo a largo plazo debido a la necesidad de personal, entrenamiento de conductores y mayor mantenimiento.

### **GoA 4**

Operación de tren desatendida

- No se requiere conductor ni ningún otro personal dentro del tren para su operación normal.
- El Material rodante no requiere de cabina de conducción, dicho espacio puede ser utilizado para ingresar mayor número de pasajeros.
- La confiabilidad del sistema debe ser lo suficientemente alta como para evitar la intervención del operador del tren, excepto en el caso de ocurrencia de fallos con probabilidad extremadamente baja.

Funciones básicas de la operación del tren		Sin conductor GoA3	Desatendido GoA4
Garantizar la circulación segura de los trenes	Garantizar ruta segura	Sistema	Sistema
	Garantizar velocidad segura	Sistema	Sistema
Movimiento del tren	Control de aceleración y frenado	Sistema	Sistema
Supervisión en la vía	Prevención de colisión con obstáculos	Sistema	Sistema
	Prevención de colisión con personas en la vía	Sistema	Sistema
Supervisión de la transferencia de pasajeros	Control de las puertas de los pasajeros	Personal	Sistema
	Prevenir lesiones de las personas entre trenes o entre la plataforma y el tren	Personal	Sistema
	Garantizar condiciones de arranque seguros	Personal	Sistema
Operación del tren	Colocar o sacar de funcionamiento la operación	Personal	Sistema
	Supervisión del estado del tren	Personal	Sistema
Garantizar la detección y gestión de situaciones de emergencia	Detectar fuego/humo y detectar descarrilamiento, detectar pérdida de integridad del tren, gestionar solicitudes de pasajeros (llamada/evacuación, supervisión)	Personal	Sistema o Personal en PCC

**Tabla 3 Resumen de definición de los grados de automatización.**

De acuerdo, a la descripción de los niveles antes mencionados se deja abierta la posibilidad de selección del grado de automatización en etapas futuras siempre que se encuentre entre dos niveles más altos existentes.

En última instancia, la selección del nivel de automatización dependerá de varios factores, incluyendo el costo, la eficiencia, la seguridad y la experiencia del explotador. Es importante tener en cuenta que la automatización sin conductor es una tecnología relativamente nueva y aún no está ampliamente implementada en el transporte ferroviario de América del Sur, por lo que se deben considerar cuidadosamente los riesgos y las oportunidades de la selección del grado de automatización en la operación del tren del Corredor Férreo del Sur. Por lo tanto, se debe tener en cuenta la flexibilidad en el diseño del proyecto para permitir una evaluación más detallada de los costos y beneficios de cada nivel de automatización.

### 6.2.3.6 DEFINICIÓN DE ELEMENTOS

#### 6.2.3.6.1 Equipos Básicos de Señalización

##### 6.2.3.6.1.1 Circuito de Vías

Los circuitos de vías detectan el estado de ocupación o liberación de un cantón mediante el cortocircuito provocado por los ejes del tren con los carriles. Su funcionalidad es posicionar los trenes en la línea.

##### 6.2.3.6.1.2 Contadores de ejes

Equipamiento dedicado a la evaluación de la presencia de trenes en una sección de la vía. Cada sección está limitada por dos puntos de detección.

#### 6.2.3.6.1.3 Cantón Móvil

El intervalo mínimo viene dado por la ubicación del tren precedente, no está sujeta a ningún cantonamiento fijo. La información de la posición del tren precedente es actualizada de forma continua desde los equipos de vía y a su vez el tren informa de forma continua de su posición a los equipos de vía.

#### 6.2.3.6.1.4 Señales

Sistema de indicación al maquinista sobre la posibilidad de paso o de parada del tren (señales tipo LEDs) en este caso su uso se dará en operación degradada.

#### 6.2.3.6.1.5 Accionamiento de cambiavías

Los accionamientos de cambiavías realizan el desplazamiento de las agujas a la condición que se requiera, tanto a través del itinerario correspondiente o por ejecución directa sobre el accionamiento.

#### 6.2.3.6.1.6 Enclavamiento Electrónico (ENCE)

El enclavamiento electrónico es un sistema de control de seguridad (SIL 4), que sirve para ejecutar los cuadros de servicio requeridos por la Administración Ferroviaria, para poder realizar todos los itinerarios posibles con la seguridad exigida por SIL 4. El ENCE permite una arquitectura distribuida o centralizada según las características de la línea.

MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

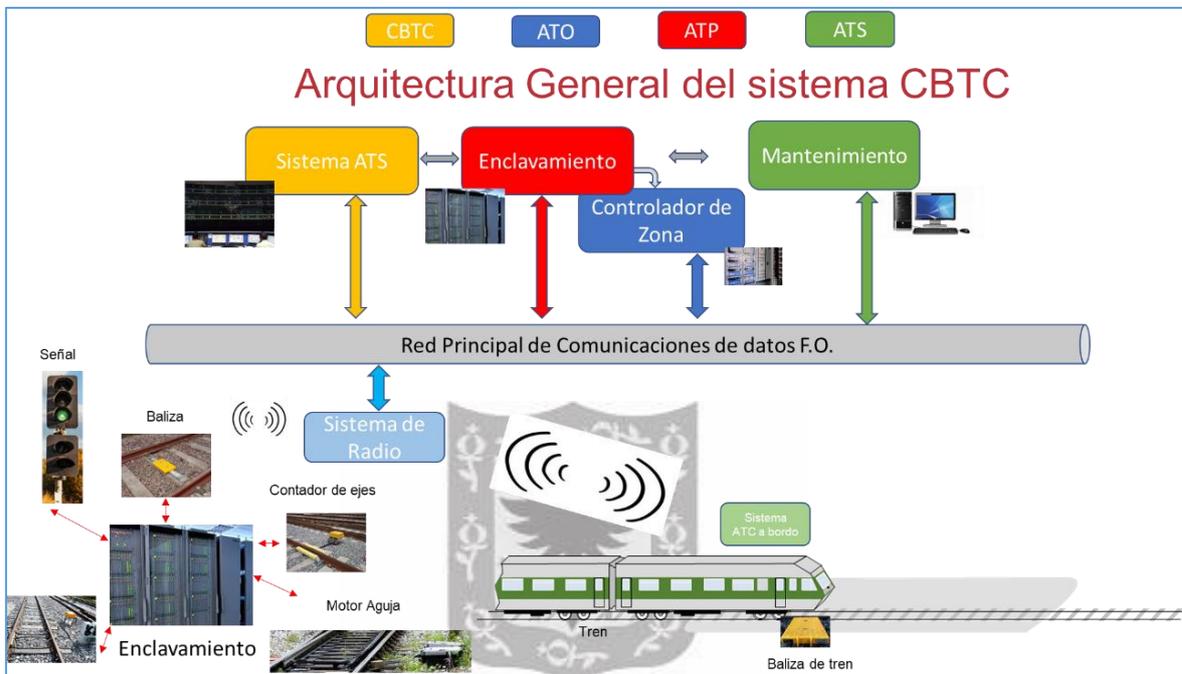
#### 6.2.3.6.1.7 Puesto de Mando Local

El Puesto de Mando Local videográfico realiza el control local de un ENCE y todos los equipos relacionados de la misma área de influencia. Este control consiste en establecimiento de itinerarios, movimiento de cambiavías, bloqueo, visualización del área de influencia, etc.

#### 6.2.3.6.1.8 Moviola

Es un sistema de representación de los acontecimientos ocurridos en un determinado momento y puede reproducir los mismos para su análisis y solución. Tiene poder de almacenamiento de los eventos ocurridos, pero esta capacidad está limitada en el tiempo. Su objetivo es la reproducción de situaciones que han ocurrido para poder analizarlas.

### 6.2.3.7 ARQUITECTURA DEL SISTEMA CBTC



**Figura 35 Arquitectura.**

Fuente: Elaboración Propia

MOVILIDAD

## 6.2.4 SISTEMA DE PUERTAS DE ANDÉN O PLATAFORMA

### 6.2.4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Es un sistema que consta de una estructura compleja que separa físicamente el andén, donde los pasajeros esperan al tren y la vía.

El sistema está compuesto por:

- Puertas correderas, la cantidad será basa en las puertas que tenga el material rodante.
- Puertas de salida de emergencia, normalmente ubicadas entre las puertas correderas.
- Puertas de fin de andén.
- Puertas fijas, normalmente son usadas para rellenar espacios entre las puertas correderas y las puertas de salida de emergencia.
- Mamparas.
- Dispositivos actuadores.

- Sistema de mando y control.

Las puertas correderas son de doble hoja, estas son colocadas al borde del andén estando normalmente cerradas con el fin de garantizar la seguridad de los pasajeros que esperan el tren.

En cuanto a su operación, una vez que el tren llega a la estación y se detiene en una posición donde las puertas del tren y de la plataforma se alinean automáticamente, todas las puertas se abren simultáneamente. Después de un tiempo establecido para que los pasajeros suban o bajen del tren, las puertas se cierran simultáneamente, tanto en el tren como en la plataforma.

Entre los propósitos de las puertas de andén se menciona lo siguiente:

- Evitar caída de personas a la vía
- Prevenir el acceso a la infraestructura ferroviaria.
- Eliminar o reducir la velocidad del aire en la estación, debido al efecto pistón.
- Eliminar o reducir el ruido causado por el paso de los trenes en la estación.
- Mejorar el control de la ventilación
- Mejorar el control del microclima
- Reducir el costo del aire acondicionado.
- Evitar el vertido de residuos a la infraestructura ferroviaria.
- Aumentar la velocidad de ingreso y salida de los trenes en la estación.
- Evitar el contacto de los usuarios con los trenes en movimiento.
- Aumentar el tamaño útil del andén, como resultado del no uso de la línea amarilla.

El sistema de puertas de andén está conectado al sistema de las puertas del coche y a los sistemas de ATC, ATP, ATO y el sistema de señalización.

La integración de ambos sistemas se logra a través de un sistema de sensores y dispositivos electrónicos que aseguran la coordinación entre los sistemas. El sistema de señalización envía información a los dispositivos de control de las puertas de andén una vez que el tren este detenido en el andén y posicionado correctamente, lo que permite la apertura y cierre coordinado de las puertas del tren y las puertas del andén. Además, el sistema de señalización controla la velocidad del tren para garantizar que se detenga correctamente y en la posición correcta en el andén.

Es importante destacar que la integración del Sistema de Señalización con el Sistema de Puertas de Andén también incluye medidas de seguridad adicionales, como la detección de obstáculos en las vías o el andén. Si el sistema detecta un obstáculo, como una persona o un objeto en las vías, se activa una alarma y se detiene el tren para evitar una colisión o un arrollamiento. De manera similar, si se detecta una obstrucción en las puertas de andén, como una persona o un objeto, las puertas no se cerrarán y se activará una alarma para evitar lesione a los usuarios.

Esta conexión entre las puertas de andén y las puertas de los trenes estará diseñada para sincronizar dicha maniobra, es decir, al tener el sistema sincronizado y tener alguna puerta con un defecto se evitaría la apertura de esta.

La conexión entre las puertas del andén y el sistema de señalización permitirá un seguro movimiento de pasajeros (ingreso / salida) del tren, solo cuando el tren este parado en posición correcta.

El sistema de control puertas de andén deberá estar compuesto por:

- Sistema de tierra
- Sistema de embarcado.

El subsistema de embarcado será de responsabilidad del proveedor del sistema de puertas de andén. El proveedor del material rodante será el responsable de la preparación de este para el alojamiento del sistema embarcado y de las interfaces entre el sistema de embarcado y la lógica del tren.

En conclusión, la integración del Sistema de Señalización con el Sistema de Puertas de Andén es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema de transporte ferroviario. A través de la coordinación de ambos sistemas y la implementación de medidas adicionales de seguridad, se asegura un acceso seguro y rápido al tren y se evita la posibilidad de colisiones o lesiones.

#### 6.2.4.2 FUNCIONALIDAD

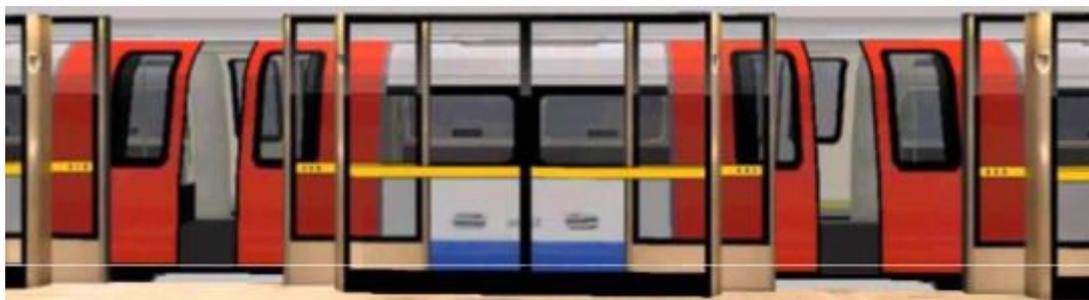
El sistema para diseñar estará compuesto por las mamparas y puertas, por unidad de control local, por panel de estación, contará con las interfaces con el ATC, ATO y el sistema de supervisión y por el sistema de suministro de energía e ininterrumpida.

Cuando el tren en servicio no esté en la estación su normal operatividad es mantener las puertas cerradas y bloqueadas, esta indicación debe ser indicada en el sistema de supervisión.

En el final del andén deben instalarse las puertas de fin de andén, estas deben contar con un dispositivo de bloqueo, luz de advertencia y alarma controlada, esta se activa una vez se produzca la apertura de alguna puerta.

El sistema deberá disponer de una función de detección de obstáculo, esto con el fin de evitar cualquier atrapamiento de algún usuario, una vez se libere la zona del cierre de las puertas el sistema automáticamente tratará de realizar el cierre de las puertas afectadas por el obstáculo.

El sistema deberá ser capaz de estar en funcionamiento en modo degradado, es decir, deberá estar habilitado a estar disponible ante fallos en las instalaciones de las estaciones, en los sistemas de transmisión tren-tierra o en los equipos de tren



**Figura 36 Referencia puertas de andén.**

Fuente: Web

## 6.2.5 SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES Y RADIOCOMUNICACIONES

Los sistemas y subsistemas de telecomunicaciones constituyen para las redes ferroviarias modernas, una herramienta fundamental y necesaria para el monitoreo, supervisión, control y gestión del tráfico ferroviario y de todos los sistemas, subsistemas, componentes, dispositivos y herramientas con las que se implementan las redes ferroviarias para la ayuda a la explotación y mejora de la seguridad de las instalaciones ferroviarias, así como para el incremento de las comunicaciones e intercambio de información con los usuarios y personal operativo de la línea.

El sistema de Comunicaciones a ser desarrollado para el Corredor Férreo del Sur estará compuesto por más de un subsistema, para poder garantizar las diferentes funcionalidades requeridas para la operación del Corredor Férreo del Sur, cuya integración será utilizada plenamente por los operadores del Centro de Control.

El sistema de comunicaciones estará compuesto por un conjunto de sistemas y servicios destinados a proporcionar una serie de funcionalidades al operador de la línea, a los viajeros y a los demás actores del Corredor Férreo del Sur que las requieran. Así mismo, todos los sistemas y servicios de comunicación, internos y externos al Sistema realizarán el intercambio de datos mediante la utilización de redes de comunicación totalmente transversales. Dichas redes contemplarán en su prediseño los requisitos y limitaciones de cada uno de los servicios y sistemas a transportar.

Como premisa fundamental del prediseño del sistema de comunicaciones, es que este se debe concebir como una red de transporte de datos redundante, de alta velocidad, aplicable para todos los sistemas y subsistemas del proyecto y considerando todas sus interfaces técnicas y operacionales. Además, la posibilidad de expansión para los proyectos a futuro relacionados con el Corredor Férreo del Sur.

Existen diversos tipos de sistemas de comunicaciones que se han desarrollado y adaptado para las funciones específicas que se requieren con el fin de controlar el tráfico ferroviario. Sin embargo, como sucede en todos los elementos que conforma el control de tráfico en ferrocarriles, el volumen de tráfico y las frecuencias de circulación desarrollados por la disciplina de Operaciones Ferroviarias determinarán el nivel de tecnología que se requerirá para definir el sistema de comunicaciones de la red ferroviaria.

El Sistema de Comunicaciones del Corredor Férreo del Sur, que será prediseñado por el Consultor, incluirá como mínimo los subsistemas indicados a continuación:

- Redes de Comunicaciones:
  - Red de Nivel Físico (incluyendo red de fibra óptica redundante).
  - Red de Transmisión de Voz y Datos.
  - Red de Radiotransmisión de Voz y Datos.
  
- Subsistemas de Comunicaciones:
  - Cronometría.
  - Gestión de Operadores.
  - Telefonía, Interfonía.
  - Grabación de voz y datos.
  - Difusión de Publicidad.
  - Video Vigilancia (CCTV) y Alarmas.
  - Megafonía, Altavoces.
  - Ayudas e Información Inclusivas al Usuario, Sistema de Información al Viajero (SIV)
  - Control de Acceso y Alarmas.
  - IHM de Comunicaciones.
    - Sistema de Gestión del Mantenimiento
  - Sistema de Radiocomunicaciones
  
- Recaudo
- Acceso a internet vía Wifi para el personal interno y para los viajeros, en las estaciones y en los trenes.

Es importante mencionar que dentro del área de comunicaciones del presente proyecto, se incluirá también la propuesta de una red de comunicaciones para el Sistema de Seguridad, Señalización y Control de Trenes, pero esta red será prediseñada totalmente independiente de la red del sistema de comunicaciones, propias del Corredor Férreo del Sur, utilizando para ello, un sistema de cable de fibra óptica independiente y redundante para el sistema de señalización y control de trenes, esto se hará por razones de seguridad e integridad de la información del sistema de seguridad de señalización y control de trenes.

Para cada uno de los subsistemas del sistema de comunicaciones en fase de prefactibilidad, se incluirá como mínimo lo siguiente:

- Arquitectura del sistema.
- Especificación funcional del sistema.
- Esquemas tipo.

#### **6.2.5.1 RED DE NIVEL FÍSICO (INCLUYENDO RED DE FIBRA ÓPTICA REDUNDANTE)**

El sistema de comunicaciones del Corredor Férreo del Sur se conformará por redes de área local (LAN) ubicadas en cada una de las estaciones de pasajeros y las instalaciones del Corredor, que lo requieran. Las redes que harán parte de este sistema estarán conectadas a través de la red multiservicio o red primaria de comunicaciones,

que se componen por cables troncales de fibra óptica, soportando todos los intercambios de datos, voz y video, entre los diferentes sitios a lo largo de todas las instalaciones que hacen parte del Corredor Férreo del Sur. La red multiservicio o red primaria de comunicaciones, interactúa con todas las redes LAN y con los servidores de cada subsistema, con los equipos y dispositivos genéricos de cada uno de ellos, equipamiento necesario para la correcta y óptima operación del Corredor Férreo del Sur.

Lo anteriormente indicado también aplicará para el sistema de señalización y control de trenes, contando con la previsión de que será una red independiente, paralela a la de los sistemas de comunicaciones.

### **6.2.5.2 RED DE TRANSMISIÓN DE VOZ Y DATOS**

La red de transmisión de voz y datos será la red de transporte principal de la línea, con la capacidad para el transporte de voz, datos y video, asociados a todos los sistemas de comunicaciones, así como cualquier otro sistema externo (servicios informativos como publicidad).

Según su arquitectura, la red de transmisión de voz y datos podrá ofrecer cobertura a todas las áreas del sistema y los trenes a través de los siguientes niveles funcionales:

- Nivel de Acceso, diseñado para ofrecer los puntos de acceso finales de la red, tanto a nivel de estaciones, patios y talleres, interior de las unidades de material rodante, cuartos técnicos, CCO, entre otros.
- Nivel de Distribución, destinado a ofrecer comunicación dentro de una estación o grupos de estaciones, así como entre trenes o grupos de trenes y CCO.
- Nivel de Backbone, estará constituido por una red de nivel físico, soportada en anillos de fibra óptica que interconectará todos los elementos físicos e instalaciones del sistema. Se propone que sea implementado sobre MPLS.

El sistema por implementar se propondrá para adaptarse a las necesidades requeridas de cada uno de los servicios. Sin embargo, el diseño deberá ser considerado global. Se emplearán los niveles de redundancia convenientes a fin de garantizar una red de alta fiabilidad y disponibilidad.

Finalmente, la red de transmisión de voz y datos deberá brindar una serie de mecanismos y funcionalidades avanzadas (seguridad, gestión de recursos, aplicación de políticas de calidad, expansión) de forma que puedan satisfacerse las necesidades actuales o futuras por parte de los servicios que serán transportados en el uso de dicha red.

El sistema Red de Transmisión de Voz y Datos, estará constituido para la conexión y servicio a los siguientes subsistemas de comunicaciones:

- Cronometría.
- Gestión de Operadores.
- Telefonía, Interfonía.
- Grabación de voz y datos.
- Difusión de Publicidad.
- Video Vigilancia (CCTV) y Alarmas.
- Megafonía, Altavoces.
- Ayudas e Información Inclusivas al Usuario (Viajero).

- Control de Acceso y Alarmas.
- IHM de Comunicaciones.
  - Sistema de Gestión del Mantenimiento
- Sistema de Radiocomunicaciones
- Recaudo

### 6.2.5.3 RED DE RADIOTRSMISIÓN DE VOZ Y DATOS

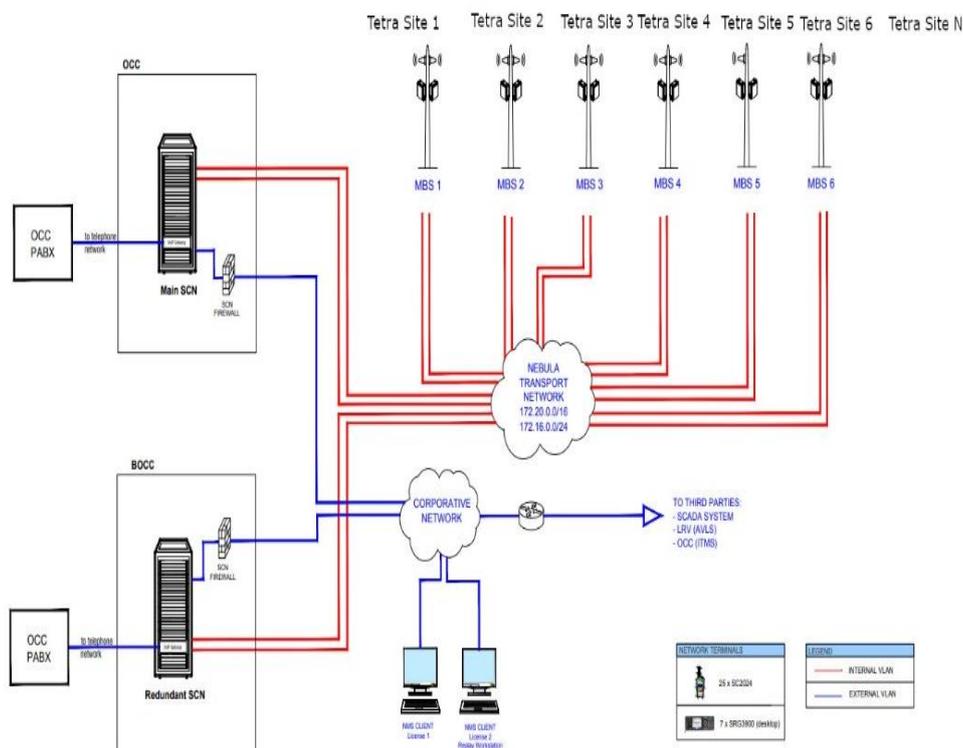
El Sistema de Radiocomunicaciones de Voz y Datos está compuesto por la red de transporte inalámbrico de datos del Corredor y el vínculo tren-tierra, la red LAN del material rodante estará conectada con los equipos de tierra de la red de transporte de datos en las estaciones y las instalaciones del Corredor Férreo del Sur, para ofrecer los datos necesarios a los sistemas embarcados como: Interfonía, Megafonía, Supervisión Técnica Embarcada, conectividad a Internet vía WIFI abordo, entre otros. Todos los servicios que utilizan esta red deberán ser implementados sobre protocolo IP.

El sistema por implementar deberá contemplar una red móvil de alta seguridad para servicios de voz y datos en baja velocidad a lo largo de todo el Corredor Férreo, integrado sobre protocolo IP, que proveerá un servicio de radiotelefonía privada y permitirá comunicación móvil en la línea entre el personal de explotación (operadores de trenes, operadores de tráfico, operadores de patio taller, personal de mantenimiento y seguridad).

El Subsistema de Radiocomunicaciones (radio tren – tierra - tren), será un sistema de comunicación móvil digital, que se propone sea de tecnología TETRA (dada la tendencia de aplicación de esta tecnología en la mayoría de los sistemas ferroviarios en Colombia) se deberá desarrollar conforme con las especificaciones estándares de TETRA, según lo definido por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación - ETSI.

El sistema de radio comunicación, proporcionará cobertura de radio redundante a todas las zonas del corredor ferroviario del Corredor Férreo de Sur, entre las cuales se mencionan:

- Estaciones
- CCO
- Patios y Talleres del sistema
- Trenes
- Túneles y viaductos del sistema
- Cuartos Técnicos
- Subestaciones Eléctricas
- Salas de Recaudo
- Cuarto de Operadores



**Figura 37 Arquitectura TETRA.**

Fuente: Web

#### 6.2.5.4 SUBSISTEMAS DE COMUNICACIONES

##### 6.2.5.4.1 Cronometría

El Sistema de Cronometría deberá suministrar una señal de sincronismo estable y segura que permita el correcto funcionamiento de los sistemas síncronos definidos. Esta señal será suministrada por una fuente de sincronismo de alta estabilidad y con capacidad para su difusión mediante el uso de las redes de comunicaciones.

El Sistema de Cronometría deberá proporcionar y difundir mediante el uso de la red de transmisión de voz y datos la hora real de la línea incluyendo todos los equipos que tengan la necesidad de trabajar bajo este patrón horario.

El sistema se basará en la tecnología IP y utilizará protocolos NTP para garantizar una información coherente y fiable en el Corredor Férreo del Sur.

Los equipos primordiales del Sistema de Cronometría serán:

- Reloj Maestro Central, ubicado normalmente en el CCO.
- Relojes maestros en las estaciones, sincronizados por el reloj maestro del CCO o servidor NTP
- Relojes Indicadores Digitales y/o análogos.

El Reloj Maestro estará conectado al GPS.

El sistema de cronometría deberá aportar la distribución de una referencia horaria (fecha y hora exacta) a todas las estaciones, locales técnicos, patios y talleres, trenes, así como todos los diferentes equipos instalados en el Corredor Férreo del Sur.

El Sistema de Cronometría deberá garantizar la cobertura de las siguientes funcionalidades generales:

- Disponer de un mecanismo automático de recalibración o corrección.
- Disponer de una herramienta de gestión operativa y técnica, permitiendo la configuración de las variables parametrizables y supervisión y monitorización de los elementos gestionables.

#### 6.2.5.4.2 Gestión de Operadores

El Sistema de Gestión de Operadores es un instrumento que permitirá al Corredor Férreo del Sur tener un desempeño de manera ordenada en lo que se refiere a políticas, procedimientos, accesos y control al uso de software, documentos, aplicaciones, etc. mediante programas diseñados para tal efecto. Esta gestión documenta cada uno de los procesos de la empresa ofreciendo resultados a las necesidades propias requeridas.

La idea de implementar este tipo de sistema de gestión es que toda la operación de las diferentes áreas de la empresa esté alineada con el cumplimiento de los objetivos. Para lo cual es necesario que cada área tenga definido sus objetivos y sus metas.

Este sistema de gestión deberá ser diseñado para el uso tanto de los Operadores internos (operadores de CCO, personal administrativo, personal de mantenimiento, personal operativo, personal de dirección, personal de seguridad, etc.) como a los Operadores externos (contratistas).

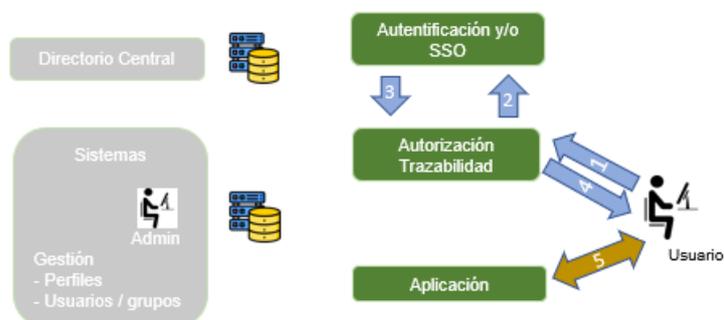
Todo lo que conlleva este tipo de software de gestión a implementar deberá ser gestionado mediante un sistema de autenticación central, es decir, deberá gestionar la identidad y la contraseña de los Operadores que lo requieran.

El sistema de gestión de Operadores suministrado deberá tener la capacidad de registrar todos los procedimientos de conexión y desconexión y todos los intentos de violación de procedimientos. El sistema deberá poseer un módulo de vigilancia que registrará la forma en la que se usa el sistema.

El servidor central deberá ser redundante y cada equipo deberá estar ubicado en el CCO y CCO de respaldo (CCO-R)

La arquitectura planteada deberá permitir que el sistema de gestión funcione en estados especiales de procesamiento bloqueados y establezca límites acerca de la ejecución de determinadas funciones sensibles.

- a) Arquitectura



**Figura 38 Ejemplo de modelo de gestión de acceso de los usuarios (ilustrativo).**

Fuente: Elaboración Propia

## b) Autenticación

Definido como el procedimiento informático que permite asegurar que un usuario del Sistema es auténtico a quien dice ser y pueda ser comprobado. Además, se trata de uno de los tres pilares fundamentales de la gestión del control de accesos que son la autenticación, la autorización y la trazabilidad.

Todo sistema de control de accesos busca garantizar la seguridad de los trabajadores, así como de todos los bienes tangibles e intangibles de la empresa, es fundamental conocer la importancia de la autenticación, ya que es el primero de los eslabones para lograr el éxito en la organización.

Para dar cumplimiento a lo mencionado anteriormente, un servidor central gestionará la identidad y el control de acceso mediante la implementación de una contraseña para cada uno de los Operadores. Los Operadores del Corredor Férreo del Sur deberán estar incluidos en una base de datos gestionada por este servidor central.

El servidor central del sistema de gestión será redundante y cada equipo deberá estar ubicado en el CCO y CCO-R.

El sistema de gestión deberá cumplir como mínimo con los siguientes requisitos:

Otorgar un solo perfil de identificación a cada Operador y sistematizar el uso de una contraseña para la autenticación.

El sistema solicitará una identificación para autorizar una conexión a un perfil de operador.

Cada usuario del Sistema perteneciente al Corredor Férreo del Sur u otro externo deberá ser definido a nivel del sistema y será registrado con los siguientes datos:

- Apellido y nombres
- Número de Identificación personal o ciudadano
- Número de identificación en la empresa
- Número de Teléfono

- Correo electrónico
- Nombre de la empresa
- Departamento al que pertenece
- Funciones

El sistema permitirá la gestión automática de las condiciones de cambio de contraseña del Operador en el primer procedimiento de conexión cuando se abrirá una nueva cuenta, y en el vencimiento del plazo de validez de la contraseña.

El sistema de gestión de Operadores gestionará el tiempo de duración válido de la contraseña de los usuarios (esta función podrá ser desactivada por el administrador del sistema) que será un parámetro en cantidad de días que el administrador del sistema considere necesario.

Cada operador o usuario del Sistema podrá ser clasificado según el grupo o departamento al que pertenezca y tendrá acceso a sus funciones específicas según su cargo. Un Operador deberá pertenecer a un solo tipo de perfil.

#### c) Autorización y trazabilidad

La trazabilidad de un software de gestión debe ser capaz de registrar todos los datos a lo largo de la cadena de usuarios internos y externos, empaquetarlos en un formato legible y prepararlos para poder ser gestionados por el propio software o como respuesta a una solicitud de servicio, o consulta de un administrador del sistema.

Emplear un software con una correcta trazabilidad será una solución efectiva para gestionar toda la información de una manera controlada, eficaz y sin posibilidad de que se produzcan errores.

La gestión de derechos de los Operadores (grupos) y el seguimiento de las acciones se deberá gestionar a nivel de cada sistema.

#### d) Funciones con privilegio

Las funciones sensibles (ej.: administrador) deberán exigir una contraseña de privilegio que será específica del Operador autorizado a usarla. Esta contraseña se ingresará antes de comenzar a hacer uso de las funciones del sistema de gestión.

Las cuentas inactivas deberán quedar automáticamente fuera de servicio tras un período de no utilización. El Administrador podrá efectuar el reinicio inmediatamente.

#### e) Administrador

Este perfil deberá tener acceso, como mínimo a lo siguiente:

- El mantenimiento de los parámetros de seguridad de acceso

- La definición de los parámetros de control de acceso
  - Las operaciones habituales de Mantenimiento del programa (purgas, respaldo, etc.)
  - Las correcciones de bases de datos
- f) Vigilancia y detección

El sistema de gestión de Operadores a proveer deberá tener la capacidad de registrar todos los procedimientos de conexión y desconexión de cualquier usuario, y podrá guardar un registro de todos los intentos de mal uso del sistema y/o violación de procedimientos. Esto se realizará mediante un módulo de control y vigilancia.

Todos los eventos y alarmas serán guardados con datos de fecha, duración, localización y frecuencia. Los registros del módulo de auditoría se podrán consultar editando el listado o reproduciendo el disco no regrabable único por razones de seguridad.

El software del sistema de gestión que se instale deberá ser diseñado de tal forma que sea imposible que los Operadores puedan evadir los dispositivos de auditoría.

El diseño de la arquitectura del sistema deberá permitir que este funcione en estados especiales de procesamiento bloqueados y limite la ejecución de determinadas funciones sensibles. El módulo de auditoría de seguridad deberá mantenerse operativo en dichos estados.

#### 6.2.5.4.3 Telefonía

Será el Sistema proporcionado para un servicio de comunicación de voz, imagen y datos, soportado en protocolos IP, para uso esencialmente administrativo y de explotación dentro de las diferentes áreas del Corredor Férreo del Sur, entre estas pueden ser, en CCO y oficinas, patios y talleres, cuartos técnicos, subestaciones eléctricas y otras dependencias.

El sistema de telefonía estará diseñado para cumplir con el enrutamiento y conexión de señales de voz y datos para todo el personal de la organización del Corredor Férreo del Sur, hacia y desde la red telefónica pública. También permitirá la comunicación interna directa entre el personal de operación y mantenimiento del sistema.

Este sistema permitirá una comunicación entre todas las diferentes áreas del sistema férreo, Estaciones de pasajeros, Patios y Talleres, CCO, Subestaciones y oficinas administrativas del Sistema, y entre estas y la red de telefonía pública PSTN (Public telephone system network).

La conexión de la telefonía automática con la red PSTN permitirá llamadas desde el exterior de la propia red ferroviaria, desde ésta y hacia ésta.

El subsistema de Telefonía deberá ofrecer una solución completamente integrada de Telefonía IP, que se integrará con el sistema de Comunicación Primaria para llegar a cualquier ubicación de la red ferroviaria.

El sistema de telefonía se complementará e integrará con los sistemas indicados a continuación, con lo que se podrán establecer comunicaciones, con el personal de la línea y los trenes:

- Interfonía y radiocomunicaciones de voz y datos.
- Red telefónica pública conmutada.
- Grabación de voz integrada.
- Consola de voz integrada.

La central telefónica PABX contempla un Servidor de Llamadas IP – Central IPBX, el cual será el elemento principal del sistema y será responsable de la conmutación de llamadas de todas los terminales IP, también de la configuración y control de todos los dispositivos del sistema del Corredor Férreo del Sur. Además, mediante los puertos de enlaces digitales se podrá conectar a la Red de Radiocomunicaciones de Voz y Datos.

La central telefónica del Sistema de Telefonía también podrá conectarse a un sistema de grabación de llamadas por medio de los puertos analógicos y estándar, así como a las líneas de la Red de Telefonía Pública Conmutada, provistas por operadoras de telefonía.

En la fase de desarrollo o etapa de factibilidad técnica de los estudios y diseños del sistema de radiocomunicaciones y del sistema de telefonía para el Corredor Férreo del Sur, se definirá y especificará la integración del sistema de telefonía y el Sistema de Interfonía con el sistema de Radiocomunicaciones, a través de una consola unificada para la operación de los tres sistemas, con el software apropiado e interfaces gráficas con pantallas táctiles, diseñadas hoy y existentes en el mercado para comunicaciones unificadas.

La aplicación software de esta integración deberá permitir las siguientes funciones a los operadores en el CCO:

- Comunicarse a través del sistema de radiocomunicación con los operadores de conducción de trenes y el resto del personal técnico y administrativo del Corredor Férreo del Sur.
- Realizar llamadas telefónicas con funciones modernas, a todo el personal técnico, operativo y administrativo del sistema, y a estos comunicarse con la red de telefonía pública, con llamadas entrantes o salientes
- Hacer anuncios a través del sistema de megafonía instalado en las estaciones.
- Entre otras funciones.

a) Telefonía IP

Los teléfonos IP estarán basados en una plataforma integrada de tecnología IP. Todos los teléfonos IP deberán permitir la conexión a un conector RJ45 Ethernet (excepto tipo Estándar) para conectar un PC.

La energía suministrada a aparatos IP deberá ser proporcionada mediante un panel centralizado de energía, alimentando 6, 12, o 24 teléfonos IP simultáneamente.

En caso de estar usando varios interfaces en serie para aplicaciones complementarias, como un grabador o una impresora, el sistema deberá proporcionar más de un puerto disponible para abarcar las necesidades del sistema, mediante un interfaz específico entre el módulo IP y el enlace de la aplicación en serie.

Para asegurar la calidad de voz, el módulo IP deberá gestionar la prioridad entre los flujos de voz y de datos.

b) Telefonía de emergencia

Con el fin de que las estaciones mantengan un canal de comunicación vocal de contingencia en caso de una incidencia o emergencia grave que aisle una o varias estaciones, se prevé la utilización de un servicio de telefonía de emergencia.

El servicio de telefonía de emergencia deberá garantizar la capacidad de comunicación de una estación con el CCO u otro centro de contingencia aún a pesar de la pérdida total de comunicación con el CCO u otras estaciones debido a la caída de las redes de comunicación.

El terminal telefónico de emergencia de una estación estará ubicado en una zona segura y de fácil acceso por parte del personal autorizado.

c) Terminales Telefónicos

Las unidades o terminales telefónicos dentro del Corredor Férreo del Sur podrán estar distribuidos de la siguiente manera:

- *Teléfonos de Personal Operacional:* Este tipo de teléfono estará instalado y disponible para el personal del Sistema de Gestión de Tráfico, quien deberá estar atento al movimiento de los trenes y de cualquier otra novedad que se presente en las áreas operativas del sistema y necesitará reportarlo de manera inmediata con el uso de esta terminal.
- *Teléfono de Controlador de Tráfico:* El teléfono habilitará las comunicaciones del Controlador de Tráfico, quien se encuentra en el Puesto de Mando y es responsable del movimiento de los trenes. Desde esta posición, también se podrán crear o eliminar grupos especiales, además de desempeñar funciones de administrador del sistema.
- *Teléfono de Estación:* Este teléfono facilitará las comunicaciones entre el personal de las estaciones y el Centro de Control de Operaciones, en primera instancia, al en la red telefónica permitirá la comunicación con todos los teléfonos de la empresa, bien sea, cuartos técnicos, otras estaciones, patio taller, entre otros
- *Teléfono Local de la Estación/Teléfono de Emergencia:* Se deberán instalar teléfonos estándar y resistentes a la intemperie en lugares estratégicos de la Estación, como los andenes, agujas, cuartos de relés y señales. Estos teléfonos tienen la particularidad de carecer de teclado, estos marcarán una llamada de emergencia al CCO solo con ser levantados y de esta forma, el usuario o personal operativo puede reportar la novedad presentada rápidamente.

- *Grabador de audio:* Es necesario proveer al Corredor de un sistema de Grabación de Audio con el fin de almacenar todas las comunicaciones que se realicen con relación a la Operación del Sistema. Normalmente este tipo de almacenamiento tiene una duración de seis (6) meses. Esta funcionalidad tiene el fin de ubicar cualquier comunicación necesaria para la verificación de la comunicación que se realizó ante un evento presentado. Es importante indicar que este tipo de sistema también deberá estar instalado para las comunicaciones que se realizan vía radio.

d) Interfaz gráfica del administrador

El Sistema deberá contar con una interfaz gráfica que permita al administrador del Sistema observar el estado de cada uno de los dispositivos que hacen parte del Sistema de Telefonía. Adicionalmente, el sistema deberá mostrar un listado de alarmas que se generen con cada terminal, logrando tener un control y seguimiento de las funcionalidades del sistema para una atención oportuna de los eventos o fallas.

#### 6.2.5.4.4 Interfonía

El sistema de Interfonía ofrece un canal de comunicación de voz o video llamada, confiable y seguro entre los operadores del sistema del Corredor Férreo del Sur, e incluso entre el usuario y el operador, con la diferencia de poder identificarse las llamadas de información con las llamadas de emergencia.

Mediante la Interfonía, cualquier usuario puede comunicarse un operador del sistema, para realizar consultas de información o llamados de emergencia que puedan presentarse en cualquier locación de las estaciones y trenes del Corredor Férreo del Sur. Este sistema también puede ser utilizado como complemento de seguridad para el control de accesos en puntos críticos de la línea, donde un operador podrá realizar un reconocimiento verbal y/o visual de la persona que realiza la llamada de solicitud de acceso a las áreas de interés o áreas restringidas.

Con la intención de ofrecer un buen servicio al usuario y mantener la comunicación, información y seguridad del sistema, se deberá prever un amplio despliegue de interfonos, que cubra todas las locaciones de interés del Corredor Férreo del Sur (plataformas de ingreso a trenes, lobby de las estaciones, cuartos técnicos, CCO, CCO-R, zonas de billeteaje, trenes, entre otros) cubriendo incluso zonas de tránsito de pasajeros y puntos de mayor interacción con el viajero.

Deberá existir una correcta integración con el sistema de video vigilancia (CCTV): El sistema de Interfonía se integrará con el sistema de video vigilancia (CCTV), para permitir a los operadores de CCO y/o al operador o personal dedicado a la supervisión del sistema de control de accesos, de acuerdo con el interfono accionado, ejecutar una identificación visual de la persona que activa el sistema de Interfonía, por ejemplo, sistema de billeteaje, barreras de control de acceso, puertas de acceso a zonas restringidas, etc.

La Interfonía permitirá:

- A los pasajeros comunicarse con el CCO (o CCO-R) y con el Conductor del tren en la zona interna de los trenes.
- Al personal de Operación o de Mantenimiento solicitar la autorización de acceso a zonas restringidas, por ejemplo, hacia la vía férrea, cuarto técnico, subestación eléctrica, entre otros.
- A los operadores del CCO, hacer escucha discreta en los recintos públicos de Estación o Trenes mediante los interfonos.

#### 6.2.5.4.5 Sistema de Difusión de Publicidad (SDP)

La producción audiovisual publicitaria conlleva cuatro agentes que intervienen directamente en las fases de contratación, ejecución y distribución del trabajo: el anunciante, la agencia, la productora audiovisual y los medios de difusión y distribución siendo el Corredor Férreo del Sur una importante manera de distribución por la gran masa de personas que circularan constantemente por sus instalaciones. La productora audiovisual se relaciona de forma directa con la agencia (que será la que contrate) y, de forma indirecta, con el anunciante.

El material que realice la productora debe estar preparado y homologado para ser correctamente distribuido a través del medio de difusión elegido (salas de cine, televisión, internet, *aplicaciones*, etc.) en este caso en las instalaciones del Corredor Férreo del Sur mediante pantallas audiovisuales que se prevén instalar en las mezzaninas, pasillos, andenes de las estaciones, trenes, con el fin de obtener beneficios secundarios de la explotación de un medio de transporte masivo.

Se implementará un sistema de Difusión de Publicidad a los Pasajeros del Corredor Férreo del Sur independiente del Sistema de Información al Viajero, aunque pueden compartir las mismas vías de comunicación para dirigir la información hacia las pantallas y sea visible y audible por el usuario.

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

En caso de situaciones degradadas, las pantallas del SDP difundirán mensajes de funcionamiento, tales como:

- Información dinámica:
  - Eventos en la línea principal
  - Información relativa a los servicios parciales
  - Normas del usuario
- Información estática como:
  - La hora
  - Información general acerca de la actividad de la línea principal.

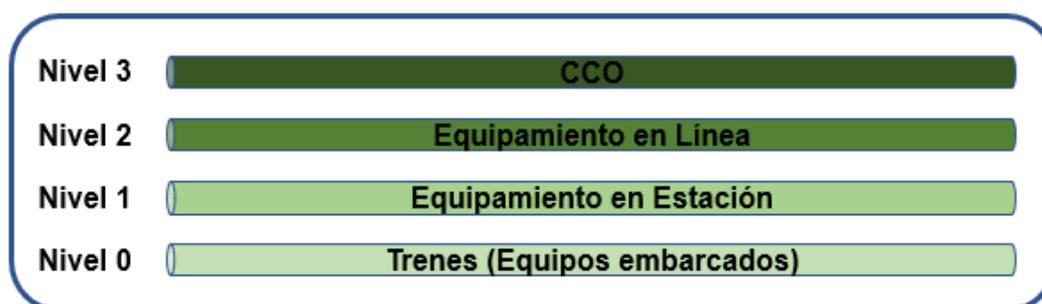
Las pantallas del subsistema de ayudas e información al usuario (SIV) y las del SDP, pueden ser de la misma tecnología y dimensiones, pero deberán ser funcionalmente

distintas para evitar mezclar la información que se pretende ofrecer en cada una de ellas.

Para el subsistema de Difusión de Publicidad a los Pasajeros se tiene previsto la instalación de un servidor central ubicado en CCO. La información por reflejar en las pantallas será controlada desde un puesto de trabajo en CCO y mediante un programa especial para la edición y creación de datos multimedia.

#### 6.2.5.4.5.1 Niveles del SDP

La organización del Sistema de Difusión de Publicidad puede realizarse en niveles según su distribución dentro del Corredor Férreo del Sur y se puede denotar de la siguiente manera:



**Figura 39 Niveles del Sistema SDP.**

Fuente: Elaboración propia

#### Nivel 0: Trenes

- Para información: pantallas de tipo LED instaladas en los Coches para la difusión de publicidad;
- Un servidor de almacenamiento y de gestión para videos/clips.



**Figura 40 Ejemplo de pantallas instaladas en los trenes.**

Fuente: Web

### Nivel 1: Equipos en la estación:

- Pantallas de tipo LED del tipo industrial con visualización multimedia (videos, clips, texto, imágenes)
- Servidores para almacenar y manejar el contenido de la información
- Estas pantallas específicas del SDP estarán ubicadas en plataformas de espera del tren, lobby de las estaciones, pasillos y zonas de recaudo.



**Figura 41** Imagen ejemplo tótem publicitario.

Fuente: Web

Instituto de Desarrollo Urbano

### Nivel 2: CCO

- Un servidor ubicado en CCO para el SDP deberá gestionar y almacenar la visualización que se pretende ofrecer en cada uno de los tipos de locación y deberá ser parte de la red de comunicaciones del Corredor Férreo del Sur.
- Los servidores del SDP deberán ser redundantes y estar ubicados en el CCO, pero en cuarto técnico diferente al cuarto técnico de los servidores del sistema.
- Se contará con un puesto de trabajo ubicado en el edificio del CCO para el diseño y edición del contenido a mostrar en las pantallas del SDP y que también se encontrará integrado en la red de comunicaciones del Corredor Férreo del Sur.

#### 6.2.5.4.5.2 Requerimientos técnicos y funcionales

Las pantallas SDP en las estaciones serán de tipo LED con robustes de tipo industrial y del tamaño suficiente para la correcta visualización por los usuarios. En cada punto de instalación podrán ubicarse dos pantallas contrapuestas para garantizar la lectura de los paneles desde diferentes puntos de ubicación del usuario. La posición y el tamaño de las pantallas aseguran que sea fácilmente legibles para cualquier independientemente de las condiciones de luminosidad del lugar.

Se proponen pantallas con protección contra vandalismo y los índices de protección tomando en cuenta las exigencias medioambientales de la ciudad de Bogotá, con un nivel de protección mínimo exigido de IP54.

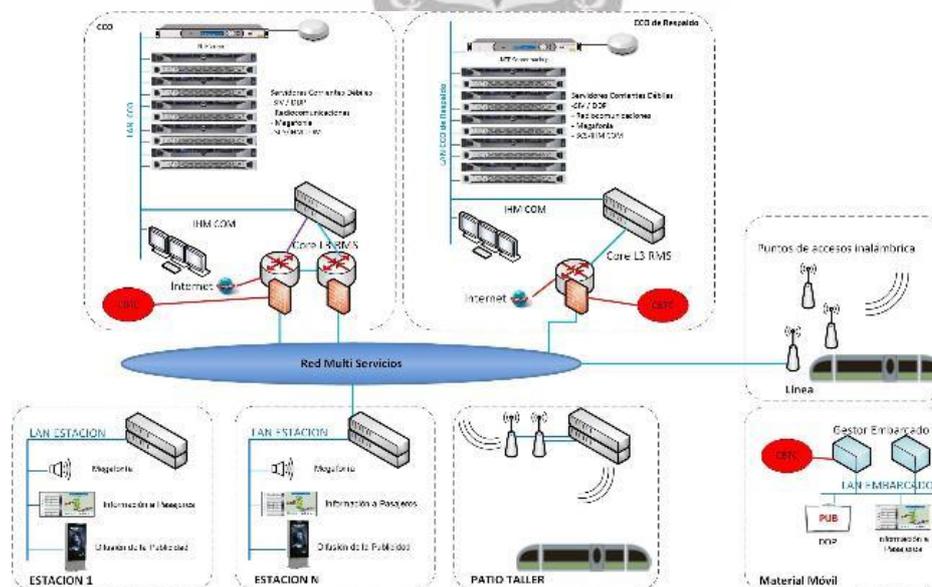
Estas pantallas deberán permitir:

- Indicar la hora actual
- La difusión de información recreativa o corporativa (videos, clips o textos) según la programación realizada desde la IHM del SDP.
- En caso de evento grave (incendio, evacuación, o cualquier información de seguridad relativa a la operación comercial, etc.) en el tren o estación, se deberá visualizar información de tipo multimedia (video, clip o texto) ingresado desde la IHM del SDP con relación al evento suscitado.

#### El servidor/grabador embarcado en el Tren

Este equipo se utilizará para registrar y manejar el contenido de marketing, que se visualizará en las pantallas embarcadas de SDP.

El contenido (videos, clips o textos) almacenado y la programación será actualizado a través de la red de comunicaciones en las estaciones terminales y en el Patio Taller.



**Figura 42 Ejemplo de esquemas de interconexión con otros subsistemas.**

Fuente: Web

#### 6.2.5.4.6 Video Vigilancia (CCTV) y Alarmas

El sistema de vídeo vigilancia o circuito cerrado de televisión (CCTV) permitirá la visualización en tiempo real y remota por más de un operador de las imágenes de vídeo, de las zonas o puntos más importantes o de mayor sensibilidad de la línea. El sistema de video vigilancia (CCTV) dará cobertura tanto a estaciones, plataformas, accesos

hacia cuartos técnicos, patios y talleres, como al CCO y las unidades de material rodante.

El sistema permitirá la grabación continuada y segura de imágenes para su posterior visualización y/o exportación a otras plataformas de reproducción/visualización, garantizando un periodo circular de grabación configurable.

Dado los altos requerimientos en banda ancha exigidos por sistemas de estas características y la posibilidad de usar más de una red de transmisión de datos, deberá permitir un ajuste de la calidad de la imagen, el uso de diferentes algoritmos de compresión y la utilización de protocolos de optimización del transporte de datos.

Permitirá la interconexión con otros sistemas de video vigilancia (CCTV) activos, especialmente en las estaciones donde existirá interconexión con otros sistemas de transporte.

El sistema se basará en una solución de vídeo sobre IP, con cámaras digitales conectadas a la Red Multiservicios y grabadas en grabadoras de vídeo basadas en un sistema de discos o tecnología RAID (redundant array of independent disks – Ordenamiento redundante de discos independientes).

El sistema de video vigilancia CCTV incluirá algoritmos para análisis de imágenes y video inteligente, que permitirá que el sistema sea utilizado con propósitos de garantizar la seguridad en las instalaciones del Corredor Férreo del Sur, para lo cual se incluirán servidores de análisis de video. Este sistema debe permitir la identificación temprana de intrusiones.

La visualización de imágenes podrá realizarse de forma automática o manual. El sistema permitirá la visualización continua, en remoto desde el CCO bajo demanda del operador y en tiempo real de las imágenes, tanto de estaciones de pasajeros, como de patios y talleres, vías, túneles, viaductos, CCO y trenes de pasajeros, etc.

Se incluirá para el sistema de video vigilancia un sistema de grabación de imágenes con una capacidad acorde a los requerimientos del sistema y con la posibilidad de la reproducción de las imágenes grabadas en puestos operativos especiales, destinados a la reproducción y análisis de contingencias e incidencias en la línea y en las instalaciones del Corredor Férreo del Sur.

El sistema de video vigilancia (CCTV) debe dar cobertura a los siguientes emplazamientos:

- Estaciones:
  - Accesos a la estación.
  - Vestíbulos.
  - Barrera de billeteaje.
  - Pasadizos de interconexión.
  - Ascensores y escaleras mecánicas.
  - Andenes.
  - Accesos a vía.
  - Accesos a salidas de emergencia.
  - Accesos a zonas técnicas.
- Talleres y patios
  - Accesos.
  - Zonas perimetrales.

- Playa de vías.
- Zonas técnicas.
- Accesos a oficinas.
- CCO
  - Accesos a zonas técnicas.
  - Accesos a zona de operación.
- Unidades de material móvil
  - Interior de los vagones.
  - Cabeceras y cabina de conducción.
  - Retrovisores.
- Edificaciones e instalaciones de las subestaciones de tracción
- Pasos a nivel (Vehicular – Peatonal) con el sistema ferroviario si existiesen

El sistema de video vigilancia (CCTV) embarcado deberá estar totalmente integrado con el sistema de video vigilancia (CCTV) de estaciones, CCO, y patio y taller.

En general el sistema de video vigilancia CCTV, deberá estar integrado con los siguientes sistemas y/o subsistemas del Corredor Férreo del Sur:

- Integración con el material móvil
- Integración con la Interfonía
- Integración con el sistema de control de accesos

#### 6.2.5.4.7 Megafonía, Altavoces

El sistema de Megafonía operará como una herramienta fiable y eficiente para la difusión a grandes zonas de la línea de mensajes de audio en tiempo real o pregrabado. Mediante este sistema, un operador del CCO, podrá emitir uno o varios mensajes en simultáneo a diferentes zonas de la línea pudiendo seleccionar el modo de emisión (manual o automático) y la naturaleza del mensaje (vocal o pregrabado).

Las principales zonas de cobertura de este sistema serán estaciones, talleres, patios de estacionamiento y material rodante.

Así mismo, este sistema será considerado crítico, dado que podrá ser usado como mecanismo para la emisión de alertas de emergencia y/o evacuación de las instalaciones. Por tanto, este sistema deberá ser considerado como un sistema de emergencia tal y como se define en la normatividad internacional aplicable al proyecto EN 60849.

Por otro lado, la difusión de mensajes de información estará totalmente sincronizada con otros sistemas, como el de información al viajero, especialmente cuando se emiten mensajes vinculados al estado del tráfico.

Para el sistema se tendrá en cuenta la instalación de niveladores de ruido, con el fin de poder escuchar los mensajes claros y fuertes

El puesto de operación del sistema en el CCO estará totalmente integrado con el puesto de operación del sistema de información al viajero, de forma que un operador del CCO, pueda gestionar ambos sistemas de forma conjunta y transparente.

El sistema estará conformado básicamente por parlantes de diferentes tipos según su aplicación, amplificadores de potencia, niveladores de ruido, estaciones de anuncios y el equipamiento de gestión, procesamiento, control y monitoreo del subsistema desde el CCO.

La solución para diseñar todos los componentes que conformarán el sistema de Megafonía responderá a las exigencias y estándares de seguridad para el servicio durante todo el día (24h) y todos los días de la semana (24x7).

La solución que se presente estará basada en un sistema estándar, abierto e interoperable, por lo que se minimizara la dependencia de fabricantes, aumentando la escalabilidad y siguiendo siempre normativa internacional.

En los estudios y diseños del sistema de megafonía a presentar, se incluirán las especificaciones técnicas y funcionales del sistema tanto a nivel de la línea y sus instalaciones como a bordo del material rodante, la arquitectura general del sistema, las interfaces y los requerimientos de integración del sistema con los demás subsistemas del sistema de comunicaciones tales como el Sistema de Tráfico y el Sistema de Información al Viajero SIV.

Se indica que existen explotaciones ferroviarias, que usan el sistema como hilo musical en los tiempos en que estos no son usados para la emisión de mensajes por parte del personal del sistema, durante la operación comercial.

#### 6.2.5.4.8 Ayudas e Información Inclusivas al Usuario Sistema de Información al Viajero (SIV)

El Sistema de Información al Viajero, permitirá informar a los usuarios del sistema ferroviario, sobre el funcionamiento del sistema en tiempo real, información de la hora oficial del sistema, informando en todo momento sobre la disponibilidad de la línea, los tiempos de espera (con un mínimo de información de tres (3) trenes) y la destinación de los próximos vehículos, la información será confiable. Además, y como información complementaria y con el objetivo de concientizar al usuario del Corredor Férreo del Sur, se analizará la posibilidad de que a través de este sistema se puedan mostrar mensajes educativos y normativas a través de los diferentes dispositivos de presentación de la información, en las estaciones de pasajeros, en los trenes, y/o en las demás instalaciones que dispongan de tales elementos.

A fin de ofrecer un completo servicio al viajero, el sistema deberá poder emitir información referente a horarios y estados de tráfico, así como horarios y estados de sistemas de transporte ajenos como por ejemplo la PLMB, especialmente en estaciones con interconexiones. Dado que el sistema de información al viajero debe complementarse con el sistema de megafonía, debe asegurarse la coherencia de mensajes emitidos en ambos sistemas.

El Sistema de Información al Viajero, no solo incluirá información sobre el horario de los trenes, sino que tendrá previsión para informar sobre las proyecciones de un mínimo de 3 trenes, así mismo deberá informar cuando un tren este fuera de servicio, o sobre los servicios expresos, tren de mantenimiento etc. Adicionalmente deberá informar de manera diferente el último tren de servicio con el fin de informar a los usuarios en las estaciones de pasajeros, sobre la finalización del servicio.

Los mensajes informativos serán de tipo multimedia, por lo que podrán difundirse imágenes estáticas, textos alfanuméricos, videos o difundir fuentes multimedia externas, por lo que toda la información, será presentada al usuario mediante paneles informativos tipo (Led, TFT, etc.), ubicados en las estaciones de pasajeros (andenes, vestíbulos y lugares de paso de los usuarios).

El sistema permitirá al operador confeccionar y almacenar, bien de forma centralizada o distribuida en estaciones y material rodante, cualquier tipo de mensaje multimedia, decidiendo en todo momento el tiempo y zona de difusión. Adicionalmente, el operador podrá programar una secuencia automática de emisión y reproducción de mensajes, así como verificar en su consola la correcta visualización en destino.

El Sistema de Información al viajero incluirá:

- Pantallas de Información a Pasajeros en todas las estaciones de pasajeros.
- Estaciones de trabajo para el personal de operación en lugares a ser definido en la ingeniería de detalle.
- Servidores para el Sistema de Información al viajero en el CCO.
- Hardware y Software para el Sistema de Información al Viajero en el CCO y en las estaciones.
- Pantallas y dispositivos a bordo de los trenes, con posibilidad de ser operados desde el CCO.

Los equipos periféricos en estaciones estarán conectados al equipo central a través de la red de comunicación primaria o red multiservicio.

Todas las Pantallas de Información a los Pasajeros serán dispositivos de visualización inteligentes, equipados con un controlador para comunicarse con el equipo central a través del Sistema de Comunicación Primaria.

El sistema se integrará desde el punto de vista funcional y operacional con los siguientes sistemas y/o subsistemas:

- Integración con el sistema de tráfico (Señalización).
- Integración con el sistema de Megafonía.
- Integración con el sistema de cronometría.
- Sistema de Difusión de Publicidad.

#### 6.2.5.4.9 Control de Accesos y Alarmas

##### 6.2.5.4.9.1 Control de Accesos

El Sistema de Control de Accesos del Corredor Férreo del Sur, ofrecerá la capacidad de controlar el acceso a zonas con carácter restringido dentro de las instalaciones de la línea, siendo consideradas como zonas restringidas aquellas zonas, en la que no puede haber viajeros y donde el acceso por parte de personal de la línea debe realizarse mediante identificación. Adicionalmente, este sistema supervisará la entrada / salida a zonas de emergencia, alertando al operador en caso de apertura no autorizada.

En zonas de control de acceso de interés especial, debe existir una integración con el sistema de vídeo vigilancia y el sistema de Interfonía de forma que, al activarse una alarma de intrusión, el operador recibirá la imagen de la cámara más cercana, y el personal tendrá posibilidad de comunicación para informar sobre su ingreso al área de interés.

El sistema debe permitir desbloquear el acceso a zonas restringidas en situaciones de emergencia y/o evacuación siempre y cuando formen parte de una ruta de evacuación.

El sistema de control de accesos y anti-intrusión debe permitir el control de las instalaciones críticas o de interés técnico del Corredor Férreo del Sur, tales como:

- Subestaciones Eléctricas.
- Cuartos Técnicos de Señalización
- Salas de comunicaciones
- Salas de control del sistema de ventilación
- Pozos de ventilación
- Salas de bombeo
- Salas de Baja Tensión
- Salas de Protección contra incendios
- Taquillas
- Salas del CCO y CCO-R
- Salas de Servidores
- Salas de Talleres y Cocheras
- Otros

El sistema debe permitir implantar permisos de acceso distintos de acuerdo con los perfiles de personal del operador o explotador de la línea, quedando registrada en (ya sea en una base de datos o en un fichero log) en el servidor del CCO la fecha y hora del acceso de cada usuario a las áreas sobre las cuales se tenga control de acceso, siendo posible la reconstrucción de los movimientos del personal por las instalaciones de red de metro.

El registro de eventos, admisiones, no admisiones, intrusiones, etc, se deberá almacenar en una base de datos del CCO (con un sistema de gestión MySQL o similar) o en un fichero log en formato Standard. La monitorización deberá ser en tiempo real y en todo momento se podrá exportar la información a formato Excel y/o texto.

Dependiendo de la cantidad de usuarios los eventos podrán ser almacenados por un mínimo de 3 meses siendo posible la consulta de eventos en este período.

- Las puertas dotadas de este sistema deben disponer de:
  - Sistema de comprobación de autorización de presencia.
  - Elementos de bloqueo de cerraduras.
  - Elementos de detección de apertura de puertas.
  - Elemento de apertura de puertas manual (recomendable).

#### **a) Integración**

La integración de ambos conceptos (control de accesos y control anti-intrusión) bajo un mismo sistema permite inhibir la generación de alarmas en el caso de que se produzcan accesos convenientemente autorizados por el sistema. Se envía una alarma al CCO cuando se detecte una apertura en un cuarto sin haberse identificado antes mediante el

lector de entrada. En caso de que se tenga que entrar con la llave maestra, el CCO debe estar informado de la incidencia y debe reconocer la alarma tan pronto como se genere.

**b) Salidas de emergencias**

Es recomendable que las puertas de las salidas de emergencia estén dotadas de un sensor para comprobar la apertura de éstas (sensores de movimiento, sensores magnéticos, etc.). Estos sensores se instalarán en las puertas tanto a nivel de vía como a nivel de superficie. Los sensores permitirán saber si estas puertas han sido abiertas.

**c) Control centralizado**

Desde los puestos de operador del CCO se debe controlar y administrar el sistema, y se debe gestionar y difundir los permisos del control de accesos asociados a cada usuario en cada emplazamiento y horario.

**d) Modo degradado**

En caso de un fallo del sistema se dispondrá de una llave maestra que permita el acceso a todas las salas de interés, o en cualquier otra situación degradada. La existencia de esta llave no debe disminuir la seguridad del sistema, para ello cualquier apertura de puerta mediante la llave, con el sistema de control de accesos y anti-intrusión en funcionamiento, reportará la correspondiente alarma al CCO.

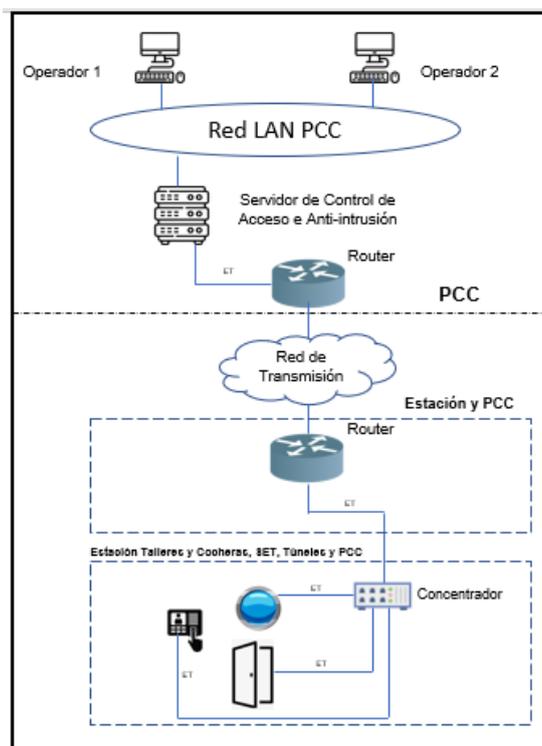
**e) Tipologías aplicables**

Las tipologías aplicables para este sistema básicamente se diferencian en el sistema de comprobación de autorización.

Generalmente la solución se basa en uno o más dispositivos que validan si la persona que desea entrar a la sala está autorizada o no, haciendo una consulta a los permisos adjudicados al usuario a través de la red del sistema hacia el CCO. En caso de que el usuario que intenta acceder a la sala tenga la permisología pertinente, el dispositivo que impide el acceso se desbloquea permitiendo el acceso a la misma.

Para salir de la sala se puede realizar el mismo procedimiento, o aquel que se defina por el explotador.

A continuación, se muestra un ejemplo de la arquitectura que puede disponer este sistema:



**Figura 43 Esquema de arquitectura del Sistema de Control de Accesos.**

Fuente: Elaboración Propia

La composición básica de equipos para el control de una sala o ubicación concreta se basa en un conjunto de dispositivos o sensores, dependiendo de las necesidades del explotador, que son controlados mediante un controlador.

Dicho controlador se conecta a la red de transmisión para hacer llegar la información de acceso e intrusión al CCO, desde donde, mediante una aplicación instalada en los puestos de operación, se

pueden controlar todos los dispositivos de control de acceso instalados en la Línea.

#### **f) Dispositivos de control de accesos**

A continuación, se listan los diferentes equipos que existen en el mercado para el control de accesos y anti-intrusión.

- Lector de huella

Con este dispositivo la persona se identifica ante el sistema colocando su huella digital en un lector. El dispositivo compara con una base de datos, y en caso de tener autorización permite el paso dicha persona al interior de la sala.

- Lector de PIN

Consiste en un teclado digital en el cual la persona debe teclear un código (PIN). El dispositivo compara con una base de datos y en caso de tener autorización permite el paso a dicha persona al interior de la sala.

- Lector de tarjeta magnética

Consiste en un lector al que la persona debe aproximar una tarjeta de identificación. El dispositivo lee la tarjeta y comparando con una base de datos determina si permite o no el acceso al interior de la sala.

- Detector de apertura de puerta

Consiste en un contacto magnético, o final de carrera, que cuando detecta una apertura de puerta envía una señal al concentrador, de forma que el concentrador compruebe si previo a esa alarma se ha realizado una autenticación válida. En caso afirmativo no se envía ninguna alarma al CCO, mientras que en caso negativo se envía la pertinente alarma indicando la intrusión no autorizada en dicha sala.

- Detector volumétrico

Se instala dentro de las salas en las que se quiera el sistema anti-intrusión. Por medio de la emisión de una señal se pueden detectar los cambios físicos ocurridos en una sala, enviando una alarma en caso de que se detecte algún cambio.

Todos estos sistemas se pueden combinar de acuerdo con las necesidades de seguridad que se requieran, teniendo en cuenta que mientras más dispositivos se tengan más seguro será el sistema.

#### **g) Solución Recomendada**

En función de las particularidades de las salas técnicas de cada estación del Corredor Férreo del Sur, donde se pretende resguardar la seguridad del sistema, estas deberán contar con un sistema de control de accesos e intrusión redundante e integrado, donde se permita crear perfiles de usuario para otorgar o denegar el acceso a determinadas zonas, con el equipamiento adecuado y considerado suficiente para responder a las necesidades de seguridad del sistema.

Este equipamiento deberá ser redundante tanto en campo como en su sistema de control, recomendándose para la seguridad en campo el lector de tarjeta magnética y el detector de apertura de puertas. Es recomendable exigir la lectura de la tarjeta en la entrada y también en la salida, para indicar al sistema que la persona está saliendo de la sala y así asegurar que no se presente una alarma como consecuencia de la apertura de la puerta cuando el agente autorizado se dispone a salir. También asegura el resguardo tanto del equipamiento como del personal que se encuentra dentro de la instalación.

La detección de huellas dactilares es una solución más compleja y no aporta ninguna ventaja sustancial en comparación con el elevado coste que representa, por esta razón se desestima su uso para esta aplicación específica.

La recomendación realizada se basa en la premisa que las salas de interés tienen una sola vía de acceso y es por medio de una puerta. Es por eso que el detector volumétrico se descarta, porque los cambios generados por la intrusión de una persona en el ambiente quedarían detectados al abrir la puerta por el detector de apertura de puertas.

Se debe tener en cuenta que en situación degradada debe existir una llave maestra para todas las salas, que permita el acceso a estas. Adicionalmente debe existir la posibilidad de activación de salida por emergencia desde la parte interna del recinto. Para casos fortuitos de posible avería del sistema de control de accesos, debe existir también la posibilidad de desarmar el control de acceso desde la parte interna del cuarto.

Las tarjetas de acceso deben ser personalizadas de manera interna a nivel de software, basándose en el sistema NFC. La personalización también debe ser externa, es decir, visual, a manera de evitar intercambios. En caso de pérdidas de tarjeta podrá realizarse un reporte para permitir el bloqueo de esta y evitar que personas ajenas a la organización puedan ingresar a las áreas de interés.

#### 6.2.5.4.9.2 Alarmas

La supervisión del sistema de Telecomunicaciones permitirá disponer de un primer nivel de gestión de registro de eventos e incidencias, que se traducen en registro de alarmas. Entonces, se debe entender que este primer nivel de gestión estará basado en la recepción de las principales alarmas de cualquiera de los sistemas de comunicaciones.

Todos los sistemas de comunicaciones, independientemente de las plataformas de gestión propias que dispongan, deberán reportar mediante un protocolo unificado, las alarmas e incidencias más significativas que permitan realizar un primer diagnóstico del estado de un sistema.

El sistema de supervisión unificada proporcionará todas las funcionalidades convencionales en un sistema de gestión, tales como listado y discriminación de alarmas por criticidad, reconocimiento unitario o colectivo, correlación de alarmas, visualización mediante layouts, generación de informes y estadísticas.

Paralelamente, el sistema de supervisión unificada realizará una monitorización continuada de todos los servidores y clientes informáticos utilizados como plataforma hardware de los sistemas de comunicaciones. Esta monitorización contemplará la supervisión de su estado de funcionamiento y los recursos utilizados.

#### 6.2.5.4.10 IHM de Comunicaciones

El IHM de comunicaciones es el encargado de la integración de todos los sistemas de comunicación que se encuentren instalados en todo el Corredor Férreo del Sur, controlados desde en una consola "IHM" común. El sistema debe permitir que el equipamiento que se requiera instalar en el futuro pueda ser parte de esta integración.

El sistema en su conjunto está compuesto de uno o varios softwares integrados que cuentan con servidores de los diversos sistemas de Telecomunicaciones ubicados en el Centro de Control del Corredor Férreo del Sur.

El operador del IHM desde el Centro de Control dispondrá de diversas funciones de mando a distancia, control y tele supervisión siguientes variables:

- Posibilidad de supervisión del estado y grado de operatividad de cada uno de los subsistemas de comunicaciones.

- Capacidad de operación transparente con cada uno de los subsistemas de comunicaciones.
- Realización o recepción de una llamada (ya sea telefonía fija, móvil o incluso desde el sistema de Interfonía) con la misma operativa para todos los subsistemas.
- Gestión inteligente de todo tipo de telefonía (propietaria TETRA, externa o Interfonía) mediante las funciones avanzadas de llamadas en colas de espera, reencaminamiento de llamadas, priorización de comunicaciones por su urgencia, llamadas en grupo, entre otros.
- Posibilidad de visualización del Stream de video integrado en la misma consola, es decir, todos los puestos de operación tendrán acceso a video.

#### 6.2.5.4.10.1 Sistema de Gestión del Mantenimiento

El Sistema de Gestión del Mantenimiento permitirá la organización y programación de todas las actividades asociadas al mantenimiento tanto preventivo, como correctivo, permitiendo la administración de recursos, el registro histórico de información de seguimiento de las actividades realizadas en atención incidencias o de las tareas comunes de mantenimiento. Como beneficio del registro histórico de mantenimiento correctivo con este sistema, es posible coordinar la programación de mantenimientos predictivos, a razón de evitar fallas que puedan generar retrasos en la operación del sistema.

Los Sistemas de Gestión del Mantenimiento traen como beneficio diversos factores que se mencionan a continuación:

- Definición de los diferentes niveles de mantenimiento (de acuerdo con lo indicado por el fabricante) a aplicar en cada uno de los equipos que hacen parte del Corredor Férreo del Sur.
- Monitorización del estado de todos los equipos.
- Generación y gestión de alarmas.
- Diagnóstico de incidencias mediante herramientas que indiquen cuál es el elemento hardware averiado o el error software que se ha producido.
- Acceso a los equipos para efectuar tareas de mantenimiento preventivo como puede ser mantenimiento de software, cambios de configuración o parámetros, etc.
- Tareas de mantenimiento correctivo como pueden ser modificaciones en el software, resets de máquinas, etc.
- Planificación y seguimiento de las tareas de mantenimiento preventivo y la gestión de tareas periódicas, permitiendo establecer la lista de tareas de mantenimiento, las fechas de comienzo y las periodicidades (de acuerdo con lo indicado por el fabricante).
- La Gestión de Recursos, realizando recomendaciones de recursos de uso obligatorio u optativo.
- La Asociación de Información adicional, permitiendo disponer de imágenes gráficas asociadas a las tareas de mantenimiento y a los recursos, la visualización de fichas de manuales o procedimientos asociadas a las tareas de mantenimiento, etc.

- Generación de Informes de seguimiento de tareas de mantenimiento, estadísticas de tiempos de actuación, estadísticas de actuaciones de mantenimiento, fichas de revisión y partes de mantenimiento, etc.
- La notificación mediante llamadas telefónicas, envío de mensajería interna, mails, SMS o notificaciones de mensajes predefinidos.

Actualmente se encuentran en el mercado diversas alternativas para la implementación de un Sistema de Gestión del Mantenimiento. Muchas empresas emplean habitualmente el módulo específico para el Mantenimiento disponible en Sistemas de Gestión ERP de alto nivel (compatible con los sistemas SAP).

El sistema de Gestión de Mantenimiento deberá estar compuesto por servidores integrados a todos los sistemas de control del equipamiento ferroviario y no ferroviario, y ubicados en el Centro de Control de Operaciones del Corredor Férreo del Sur, controlado desde uno o varios softwares de gestión desde terminales fijos o portátiles.

#### 6.2.5.4.11 Sistema de Radiocomunicaciones

La Red de Radiocomunicaciones tiene por objeto proveer un sistema de radiotelefonía privada, en grupo cerrado de usuarios, que permita la comunicación bidireccional móvil en la Línea (conductores de trenes, personal de mantenimiento, controladores del CCO, seguridad, personal técnico, entre otros) y demás localizaciones de esta, incluyendo talleres, cocheras, estaciones, entre otras. Este Sistema de comunicaciones deberá soportar:

- Comunicación Tren-Tierra. Comunicaciones entre los trenes y el Centro de Control de Operaciones (CCO), a través del equipamiento embarcado en todos los trenes que circulan por la Línea. Con ello se puede intercambiar datos entre el CCO y los trenes, y transmitir órdenes de actuación a los conductores, criterios de actuación ante percances o emergencias, informar al personal de conducción del tren, informar a los viajeros enlazando la radiotelefonía con la megafonía embarcada, intercambiar datos con el tren, etc.

Para posibilitar el establecimiento de estas comunicaciones los trenes deben estar equipados con terminales fijos, como teléfonos de alta frecuencia o móviles, considerándose contar con uno por cabina de tren.

- Comunicaciones de Mantenimiento y Seguridad. Comunicaciones entre el CCO y el personal de mantenimiento, seguridad, agentes de Línea o revisores.
- Para posibilitar el establecimiento de estas comunicaciones se dota de terminales portátiles al personal de la Línea.
- El sistema, dependiendo de la tecnología a usar permite formar grupos de usuarios con necesidades de comunicación diferentes, que utilizan este sistema para comunicarse entre ellos, haciendo más cómoda y eficiente la labor a realizar y de esta manera poder realizar una explotación del sistema sin interrupciones entre los diferentes trabajadores del corredor férreo.

Respecto a los servicios de voz, el Centro de Control de Operaciones (CCO), actúa como centro de control de llamadas para todos los usuarios. Desde el CCO se pueden establecer llamadas generales y, para cada grupo de usuarios, llamadas de grupo o individuales.

El sistema de radiocomunicaciones debe estar diseñado como medio de transporte para el envío de datos desde el tren y hacia los trenes que circulen por el Corredor Férreo del Sur. Con esto se pretende tener una visión controlada del estado de los trenes desde el CCO, permitiéndose la recepción de alarmas por avería de cualquiera de los sistemas del material rodante.

Además, el sistema de radiocomunicaciones puede usarse para agrupar otros sistemas transportando su información desde el material embarcado hacia tierra, como puede ocurrir con los sistemas de megafonía, Interfonía o información al viajero.

El sistema de Radiocomunicaciones (radio tren – tierra - tren), puede ser un sistema de comunicación móvil digital, que se basará seguramente en la tecnología TETRA (dada la tendencia de aplicación de esta tecnología en la mayoría de los sistemas ferroviarios en Colombia) y/o LTE-PMR, lo que será analizado en las siguientes etapas del proyecto, con base en el avance de la implantación de la tecnología LTE en nuestro país, cualquiera sea el sistema seleccionado, se desarrollara conforme con las especificaciones estándares de TETRA, según lo definido por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación - ETSI.

La aplicación de este estándar de TETRA está orientada a soluciones altamente especializadas en el ámbito profesional, donde las características de fiabilidad, costes, etc., son un requerimiento importante y es utilizado en sectores críticos como lo son servicios de emergencias (policía, bomberos, ambulancias, etc.).

Con TETRA debe existir la posibilidad de grabar las comunicaciones de voz y datos desde la aplicación del gestor central, mediante el uso de discos duros, DVD's u otros dispositivos de almacenamiento. Lo más usual es hacerlo en dispositivos de gran capacidad compactos y removibles, los cuales se archivan luego de ser completada su capacidad.

La red TETRA puede presentar una topología en anillo que aporta un elevado grado de redundancia y fiabilidad al conjunto del sistema, garantizando una alta disponibilidad en los elementos más críticos de la infraestructura, aunque también se puede disponer de otro tipo de topologías.

Como aspecto más significativo en el diseño de la arquitectura TETRA, hace falta destacar que la conexión de todos los elementos integrantes de la red (estaciones base, nodos de conmutación, equipos de gestión técnica y equipos de gestión operativa) se realizan a través de una red de transporte. La interconexión física de los diferentes nodos de transporte se realiza mediante una red física de fibra óptica.

Adicionalmente a la red de estaciones base, el diseño de cobertura debe contemplar una solución combinada con amplificadores de cobertura para completar y reforzar la cobertura TETRA.

Los amplificadores de cobertura que se pueden incluir en el diseño pueden ser de tipo óptico, o de radio, formados por unidades maestras y unidades remotas. Cada unidad maestra está conectada a la salida de RF de las estaciones base TETRA mediante acopladores pasivos.

## 6.2.6 SISTEMA DE PEAJE / CONTROL DE ACCESO / RECAUDO

El sistema de Recaudo del Corredor Férreo del Sur tratará básicamente todo el hardware y software necesario para el procedimiento de ingreso controlado a las estaciones del sistema y a su vez del cobro de pasaje a los usuarios. El Sistema de Recaudo deberá estar conformado por un subsistema de autorizaciones de peaje y cancelaciones de uso.

Para realizar los cálculos de dimensionamiento del sistema de recaudo efectivo (cantidad de máquinas de ingreso, dispensadores de boletos o tarjetas, computadores, entre otros) se deben utilizar los datos del estudio de demanda de pasajeros en cada estación.

En los criterios de diseño del sistema de recaudo del Corredor Férreo del Sur, se deberá considerar el tiempo mínimo de evacuación versus la cantidad máxima de usuarios, el cual determina la cantidad necesaria de barreras o máquinas de acceso que se ubicarán en el lobby de cada estación.

El sistema de Recaudo deberá estar en interfaz con un sistema central que garantice el registro financiero y el movimiento de valores provenientes de la venta y recarga de títulos de transporte.

### 6.2.6.1 VENTA AUTOMÁTICA

Se prevé la instalación de Máquinas Automáticas Expendedoras de boletos o recarga de tarjetas ubicadas en el lobby de las estaciones. Estas máquinas deberán llevar instalado un interfono conectado con el GCO y con la taquilla de la estación para que el usuario pueda solicitar información o ayuda en caso de necesitarlo.

### 6.2.6.2 VENTA MANUAL

También debe existir la posibilidad de venta de títulos de transporte de forma Manual, mediante esta alternativa es necesaria la instalación de puntos de venta en las taquillas de las estaciones. Estos equipos tienen el requerimiento de necesitar personal que los controle, por lo que es importante que en las estaciones se disponga de personal de la compañía. El personal de la estación, mediante este puesto de venta, debe poder realizar la expedición o sustitución de autorizaciones de uso, y proporcionar información al usuario genérica (horarios, títulos de transporte, etc.).

### 6.2.6.3 VENTA EXTERNA

Será necesario incluir ventas en las afueras de las estaciones del Corredor Férreo del Sur, con el fin de agilizar la compra de títulos de transporte en las áreas de mayor comodidad para el usuario y a su vez evita conglomeraciones de usuarios en las estaciones de mayor afluencia. Estas ventas externas se podrán habilitar en almacenes, tiendas, estaciones de gasolina, etc. Se dispondrá de equipos especializados para tal fin puestos a disposición del ente vendedor externo para permitir recargar los títulos.

Los datos vinculados a las transacciones externas deberán ser transmitidas al sistema central de recaudo por un enlace de telecomunicaciones disponible como una línea móvil o fija telefónica o un enlace de Internet asegurado.

Para el sistema de pago de cualquiera que sea el tipo de venta de títulos de transporte del Corredor Férreo del Sur, se deberá soportar el pago mediante monedas y billetes de curso legal de Colombia. Así como, mediante tarjetas de débito y crédito, para lo cual se deberá realizar una interfaz con la entidad bancaria, que permita la validación de la tarjeta y el cobro de esta.

#### **6.2.6.4 ACCESO PARA PERSONAS DE MOVILIDAD REDUCIDA**

En cada una de las estaciones debe incluirse por los menos un paso para personas de movilidad reducida, que por lo general deben ser puertas de doble ancho, equipadas con lector de títulos de transporte para su apertura. Las taquillas de las estaciones se deben dotar de pulsadores, uno para la apertura asistida del paso para personas de movilidad reducida y otro para el desbloqueo inmediato de todas las máquinas de barrera en caso de emergencia, debe ser un pulsador antipánico con posibilidad de rearme con una llave de control a disposición del supervisor o encargado de la estación.

#### **6.2.6.5 CANCELACIÓN DE TÍTULOS DE TRANSPORTE**

Las máquinas de barrera estarán equipadas con dispositivos lectores de tarjeta sin contacto que tienen la capacidad de realizar la cancelación de autorizaciones de viaje, cada vez que el usuario ingrese al sistema y presente su tarjeta, será descontado uno de sus viajes o el valor monetario según el costo estipulado, estos dispositivos tienen como objetivo principal el de controlar las entradas y/o salidas de los viajeros, mediante la validación/cancelación de las autorizaciones de uso, minimizando el fraude.

Las máquinas de barrera estarán dotadas de sensores que pueden definir la dirección del usuario durante el recorrido del paso, con el fin de garantizar el correcto uso del sistema de barreras.

Las canceladoras deben tener diferentes modos de funcionamiento. Los modos básicos de operación son los siguientes:

- **Entrada:** Permite la entrada a la zona controlada, mediante la validación de una autorización de uso válida.
- **Salida:** Permite la salida de la zona controlada, mediante la validación de una autorización de uso válida.
- **Bidireccional:** Permite tanto la entrada como la salida de la zona controlada, mediante la validación de una autorización de uso válida.
- **Antipánico:** En caso de emergencia todas las puertas deben estar abiertas, por lo que se permitirá el paso libre en cualquier sentido. A pesar de esto, se podrán validar las autorizaciones.

- Bloqueado: No se permite el acceso en ningún sentido.

Algunos de estos modos de funcionamiento pueden tener variantes, como son:

- Salida libre: Se permite la salida del viajero sin autorización de uso. Se abren las puertas cuando se detecta la presencia del viajero con las fotocélulas u otro sistema. Solo se aplica al modo "Salida".
- Modo rápido: Según el tipo de barrera tarifaria, para controlar el acceso a las estaciones, se permite la acumulación de pasos, por lo que no se cerrarán las puertas mientras haya pasos acumulados. Se aplica a los modos "Entrada", "Salida" y "Bidireccional". La barrera tarifaria se refiere a los diferentes títulos de viaje que tiene la entidad a ofrecer, con el fin de dar autorización de entrada una vez el usuario acerque su tarjeta Contacless al lector, el sistema verificará rápidamente la disponibilidad de recursos y tipo de título, habilitando así el paso, de esta forma puede el usuario acceder al sistema. La acumulación de pasos se refiere a que, cuando existe un número grande de usuarios, este tipo de barrera permite que esta se mantenga abierta, siempre y cuando el usuario cuente con una tarjeta válida y operativa para realizar el ingreso.

Para la gestión automática de las barreras de acceso se debe prever un sistema de programación de modos de funcionamiento controlado por horarios. Debe existir la posibilidad de definir el modo de funcionamiento de cada máquina de barrera por separado para los diferentes horarios establecidos, así como la hora de inicio de cada máquina. Esta programación debe poder ser controlada desde el CCO o desde la estación de ubicación de la máquina mediante un pupitre de control del concentrador de estación. Un operador podrá configurar el modo de funcionamiento de las barreras según sea el flujo de usuarios de entrada/salida, además de visualizar las alarmas de los equipos del sistema de recaudo y su estado de funcionamiento.

Instituto de Desarrollo Urbano

#### 6.2.6.6 INTEGRACIÓN

El Sistema de Recaudo del Corredor Férreo del Sur deberá estar integrado con los principales sistemas de transporte público de la Ciudad de Bogotá, tales como: Transmilenio, Primera Línea del Metro de Bogotá, entre otros, de tal forma que se permita el intercambio de pasajeros de un sistema de transporte al otro sin necesidad de utilizar diferentes tipos de autorizaciones de uso.

El Sistema Inteligente de Recaudo permite el manejo y el control centralizado del dinero, reduce los tiempos de acceso, permite trasbordos atendiendo la estructura tarifaria, y brinda la posibilidad de efectuar integraciones virtuales, sin necesidad de grandes estaciones de transferencia.

El sistema de Recaudo se basa en un esquema de caja única asociado al manejo de dinero por una entidad vigilada e independiente de los concesionarios de transporte. Es un mecanismo confiable y seguro, que permite contar con la información requerida para la compensación de los diferentes agentes del Sistema.

Los objetivos principales del sistema de recaudo se presentan a continuación:

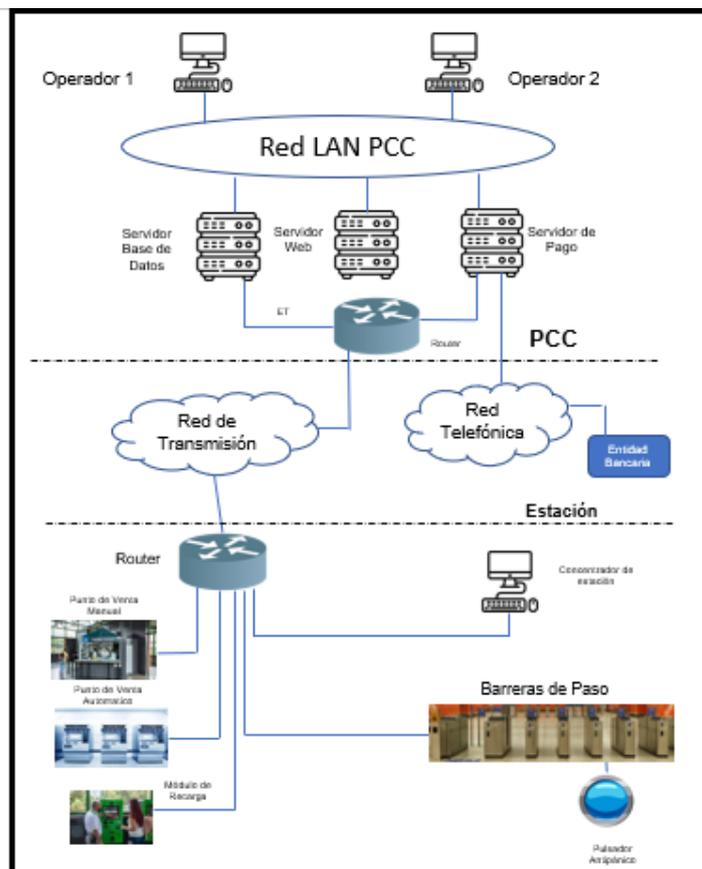
- Garantizar la eficiencia en la operación de recaudo y la seguridad del dinero recaudado por el cobro de las tarifas al usuario, al menor costo posible.
- Garantizar la calidad del servicio y de atención a los usuarios.
- Promover la aceptación cultural de los medios de pago entre la ciudadanía.
- Garantizar la disponibilidad permanente de los medios de pago para la utilización del sistema.
- Establecer canales de distribución eficientes que estimulen el uso.
- Minimizar el fraude.
- Garantizar las condiciones para la repartición del recaudo.

Estos objetivos son la base sobre la cual se diseñó el Sistema Integrado de Recaudo del SITP, que es el sistema inteligente de recaudo, y este contempla los siguientes elementos:

- Un sistema inteligente de prepago para transporte público, utilizando tarjetas inteligentes sin contacto.
- La existencia de una empresa responsable de la integración del servicio y de la operación del sistema.
- La existencia de un administrador financiero, responsable de la administración de los recursos financieros y de la cámara de compensación.
- La existencia de una amplia red de puntos de venta y recarga de tarjetas inteligentes que genera la base de datos de usuarios.
- La posibilidad de integrar todos los tipos de usuarios al sistema.
- La posibilidad de integración al sistema de todos los modos de transporte, lo que lo hace un esquema multimodal.
- Garantizar las condiciones para la repartición del recaudo.

#### 6.2.6.7 ARQUITECTURA

Las diferentes tipologías de un Sistema de Recaudo difieren en el tipo de venta y cancelación que se tenga en las estaciones. De manera general la arquitectura de todo sistema de Recaudo se puede describir de la siguiente manera:



**Figura 44** Arquitectura de un Sistema de Recaudo.

Fuente: Elaboración Propia

En cada una de las estaciones se debe contar con los siguientes dispositivos:

- Máquinas de barreras (Torniquetes).
- Equipos de expedición y recarga de tarjetas.
- Pulsadores de Antipánico.
- Puertas para personas de movilidad reducida.
- Concentrador de estación.
- Red LAN.

Donde cada elemento debe contar con conexión de cableado ethernet para ser incorporado a la Red LAN.

El equipo de transmisión (router) al que se conectan los elementos de la LAN envía la información del sistema al CCO por medio de una red de transporte soportada por fibra óptica. En el CCO los servidores de pago y de base de datos gestionan la información de las ventas e información a transmitir a la entidad bancaria respectivamente y se les muestra a los operadores del CCO por pantalla.

El servidor de pago debe tener un enlace dedicado con la entidad bancaria por medio de la red telefónica para gestionar los pagos hechos en las estaciones con tarjetas de crédito y débito.

En cada una de las taquillas de venta, se debe contar con un PC Concentrador de estación, el cual permite hacer gestión de dicha estación sobre los elementos que están bajo su dominio (torniquetes, expendedoras de operación automáticas, expendedora de operación manual, botón antipánico, puerta para persona con movilidad reducida, lector para verificar saldos en tarjetas, etc.)

A continuación, se describen cada uno de los equipos:

a) Máquinas de Barrera

Existen dos tipos de máquinas de barrera, que son, Barreras Tarifarias y Torniquetes.

Las barreras tarifarias se componen de puertas automáticas bidireccionales de apertura controladas por validadoras, que controlan e interpretan la información de las autorizaciones de uso. La siguiente figura muestra una barrera tarifaria:



**Figura 45 Barrera Tarifaria.**

Fuente: Web

Las barreras pueden ser reversibles con pictogramas de información para el paso de los usuarios. La reversibilidad o inutilización de las barreras se controla desde el CCO o desde el concentrador de la estación.

En las barreras para personas de movilidad reducida se incorpora un interfono para poder aportar ayuda al usuario.

Las barreras, tanto en caso de caída de alimentación eléctrica, como en caso de emergencia se abren automáticamente y permanecen en esta situación hasta que se restablezca la normalidad.

Los Torniquetes son una solución más sencilla que la anterior; la solución se basa en 3 barras metálicas que rotan al momento de que una persona pasa al interior de la estación. Se muestra en la siguiente figura:



**Figura 46 Máquina de Barrera de Torniquete.**

Fuente: Web

Al igual que las barreras pueden operar en el modo de operación bidireccional, dependiendo de la demanda horaria de la estación. La opción de dejar el libre acceso a la estación también es posible con el uso de torniquetes.

Con respecto al acceso a personas de movilidad reducida, los torniquetes no se pueden usar por lo que se hará uso de una puerta automática de doble ancho con respecto al torniquete.

Tanto las barreras como los torniquetes seden el paso a los usuarios una vez hecha la validación de la autorización de uso. Las autorizaciones de uso se otorgarán a los usuarios mediante tarjetas sin contacto (TISC).

#### b) Equipos de Expedición y Recarga de Tarjetas

En el caso de que la estación esté atendida por personal, se puede disponer de equipos de Venta Manual, estando normalmente ubicado en el vestíbulo de la estación. Este punto de Venta Manual permite la realización de las siguientes funciones:

- Expendición o sustitución de autorización de uso.
- Cobro mediante los siguientes medios de pago:
  - Contado.
  - Tarjeta de crédito / debito
  - Emisión de recibos de las operaciones anteriores.
- Información al usuario del contenido de su tarjeta sin contacto.

- Actualizaciones y puesta en marcha de software on–line.
- Información al usuario genérica (líneas, horarios, etc.)

El equipamiento de Venta Manual deberá contener los siguientes dispositivos:

- CPU con teclado, ratón y pantalla táctil
- Display de usuario para mostrar el importe
- Impresora de rollo de papel térmico
- Aceptador de tarjetas de crédito
- Máquina expendedora de autorizaciones de uso
- Venta y recarga de tarjetas sin contacto con un lector/grabador de este tipo de tarjetas.

### 6.2.7 EQUIPOS DE PATIO TALLER.

En el prediseño de los equipos eléctricos y electromecánicos del Patio Taller del Corredor Férreo del Sur debe considerar una variedad de sistemas y herramientas para garantizar un mantenimiento y reparación eficiente del material rodante. A continuación, se presenta una propuesta de prediseño para estos equipos:

#### 6.2.7.1 Puente grúa

Este equipo facilitará la manipulación y el traslado de componentes pesados, como bogies, motores de tracción y otros equipos durante los procesos de mantenimiento y reparación.

Los puentes grúa para talleres de metro suelen ser de tipo birriel, es decir, tienen dos vigas que soportan el puente y permiten el desplazamiento de la carga, tanto verticalmente como hacia cualquier dirección horizontal. Estos puentes pueden ser accionados eléctricamente o mediante sistemas hidráulicos.

La capacidad de carga del puente grúa para los talleres de metro del Corredor Férreo del Sur debe oscilar entre 10 y 15 toneladas, la capacidad específica se seleccionará en etapas posteriores del proyecto. También debe contar con sistemas de control automatizado para mejorar la precisión y la seguridad en la manipulación de cargas pesadas.

En cuanto a las dimensiones, el puente grúa para el taller del Corredor Férreo del Sur metro debe tener una longitud adecuada con las dimensiones del taller, por lo general tienen una posibilidad de movimiento lateral de 15 metros por 25 metros y una altura de elevación de hasta 10 metros, lo que permite mover componentes pesados de gran tamaño. Además, debe contar con sistemas de seguridad y protección para evitar accidentes en el taller.



**Figura 47** Puente Grúa

Fuente: Web

#### 6.2.7.2 Compresor de aire

Un compresor de aire de alta capacidad será necesario para proporcionar aire comprimido a diversas herramientas y sistemas neumáticos en el Patio Taller.

El compresor de aire para el Taller del Corredor Férreo del Sur debe tener las siguientes características generales:

**Capacidad:** Se recomienda un compresor de aire con una capacidad de motor entre 300 y 500kW, con Flow FAD entre 2300 y 4500 m<sup>3</sup>/h para satisfacer las necesidades de aire comprimido del taller de manera eficiente.

**Presión:** La presión de operación típica para un compresor de aire de taller es de al menos 100 psi (libras por pulgada cuadrada).

**Tipo de compresor:** Para un taller de Metro, se recomienda el uso de un compresor de tornillo rotativo de alta eficiencia energética, libre de aceite, que pueda suministrar aire comprimido de manera constante y confiable para la operación de diversas herramientas y sistemas neumáticos.

**Sistema de secado:** debe estar equipado con un sistema de secado para eliminar la humedad del aire comprimido, lo que puede causar corrosión y dañar las herramientas y equipos neumáticos.

**Sistema de control:** El compresor de aire debe estar equipado con un sistema de control automático para monitorear y ajustar la presión de aire comprimido y la temperatura del compresor para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable.



**Figura 48 Compresor de Aire**

Fuente: Web

### 6.2.7.3 Columnas de levante de trenes (fijas y móviles)

Estas columnas permitirán elevar los trenes para facilitar el acceso a los componentes y sistemas ubicados en la parte inferior del material rodante, así como para el cambio de bogíes o motores de tracción.

Para calcular la capacidad necesaria de cada columna de levante de trenes, debemos tomar en cuenta el peso del vagón. En este caso, asumiendo que el peso está uniformemente distribuido y que se requieren cuatro columnas para levantar un vagón de 50Tn, cada columna deberá ser capaz de levantar al menos 12.5 toneladas, por lo tanto, la capacidad máxima de cada columna debe ser mínimo de 15 toneladas.

Es importante considerar también la altura necesaria para levantar el vagón y permitir el acceso a los componentes y sistemas ubicados en la parte inferior del tren. La altura de las columnas de levante de trenes debe ser mínimo de 2,5 metros para permitir el acceso cómodo y seguro a los trabajadores que realizan el mantenimiento.



*Figura 49 Columna de levante de trenes*

Fuente: Web

#### **6.2.7.4 Torno para mecanizado de ruedas:**

Este equipo será utilizado para el reperfilado y mecanizado de ruedas, garantizando un desgaste uniforme y adecuado de las mismas, así como para eliminar deformaciones o imperfecciones que puedan afectar la seguridad y el confort de la operación de los trenes.

Se presentan características básicas e imagen asociada en el apartado 7.1.11.

#### **6.2.7.5 Bancos de pruebas**

Estos equipos permitirán el diagnóstico y la verificación del correcto funcionamiento de sistemas eléctricos, neumáticos y de frenado, entre otros. Los bancos de pruebas pueden incluir sistemas de diagnóstico de motores de tracción, sistemas de control y sistemas de frenado.

Los bancos de prueba se componen de diferentes módulos o sistemas de diagnóstico, que pueden incluir el control de motores de tracción, sistemas eléctricos, sistemas neumáticos, sistemas de frenado y otros componentes. Estos equipos se utilizan para verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de los trenes, así como para realizar pruebas de diagnóstico y mantenimiento preventivo.

Los bancos de pruebas suelen estar equipados con instrumentación especializada, como sensores de temperatura, de presión, de vibración y otros dispositivos para medir

el rendimiento y la eficiencia de los sistemas del tren. También pueden incluir sistemas de monitoreo y registro de datos para análisis posteriores.



**Figura 50 Banco de Pruebas de Motores de Tracción**

Fuente: Web

#### **6.2.7.6 Equipo de soldadura**

Se necesitarán equipos de soldadura para realizar reparaciones estructurales y el mantenimiento de componentes metálicos en el material rodante.

Deben ser equipos de soldadura eléctricos, con capacidad de soldadura con electrodo revestido y TIG (Tungsten Inert Gas).

Deben tener una potencia suficiente para soldar diferentes tipos de materiales, incluyendo aceros al carbono, aceros inoxidables, aleaciones de aluminio y metales no ferrosos, tener una corriente de soldadura ajustable y una regulación fina del voltaje para garantizar la calidad de la soldadura y la protección de los componentes.

Estos equipos deben incluir sistemas de protección contra sobrecargas térmicas, cortocircuitos y sobretensiones.

Deben ser portátiles y fáciles de transportar para su uso en diferentes áreas del taller.

Deben estar equipados con un sistema de ventilación para garantizar la seguridad y la eliminación de los humos y gases producidos durante la soldadura.



**Figura 51** Equipo de soldadura eléctrica

Fuente: Web

## 6.2.8 PREDISEÑO DE LAS OPERACIONES FERROVIARIAS DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR

### 6.2.8.1 Parámetros Operacionales

#### 6.2.8.1.1 Capacidad de la línea

La capacidad de la línea es el número máximo de personas que pueden ser transportadas en la línea por hora y por dirección. El valor depende de la norma de comodidad considerada para el proyecto, se ha definido un valor de 6 pasajeros por metro cuadrado (m<sup>2</sup>). La capacidad debe ser adaptada a la demanda por hora y por dirección (expresado en número de Pasajeros Por Hora Por Dirección, PPHPD) que ocurre en las horas punta y en el tramo más cargado.

#### 6.2.8.1.2 Capacidad del Tren

La capacidad del tren está dada por el tipo de material rodante y sus características técnicas, área interna aprovechable de un coche por la cantidad de coches. Se ha

considerado un valor máximo de usuarios que aporte confort y seguridad, siendo este de 6 pasajeros por metro cuadrado.

#### 6.2.8.1.3 Velocidades

Las velocidades de circulación (velocidad máxima y velocidad comercial) dependerán de la tipología de la línea y del diseño geométrico férreo, que permitan obtener resultados dentro de los estándares de seguridad. La velocidad máxima será la velocidad que puede alcanzar el material rodante en vía recta dentro de los límites de seguridad. La velocidad máxima del material rodante seleccionado para el Corredor Férreo del Sur es de 80 km/h. La velocidad comercial se calcula considerando todos los factores que influyen en el recorrido, por ejemplo, velocidad máxima en curva, factor de drenado en túnel, resistencia al avance, aceleración, tiempos de parada en estación, entre otros.

#### 6.2.8.1.4 Tiempo de parada en estaciones

El tiempo de parada se obtiene calculando la duración desde la parada del tren en la estación hasta cuando inicia su salida de la misma. Se incluyen los tiempos de apertura y cierre de puertas necesarios para el ascenso y el descenso de los pasajeros.

El tiempo de parada en estaciones terminales supera el tiempo de parada en estaciones intermedias, debido a que en los terminales el tren debe ser desalojado por completo. Se definen estos tiempos de la siguiente manera:

- Tiempo de parada en estaciones terminales: Cuarenta (40) segundos.
- Tiempo de parada en estaciones intermedias: Veinte (20) segundos

#### 6.2.8.1.5 Tiempo de retorno en la estación terminal

Corresponde al tiempo necesario para el cambio de vía, desde el andén de llegada, en una estación terminal, hasta el andén de salida. Se incluyen los tiempos de parada, los tiempos de recorrido en la zona de maniobras y el tiempo de cambio de dirección.

Debido a la estructura de la línea en sus terminales, las maniobras deberán realizarse por delante de la estación, lo que obliga a minimizar el tiempo de retorno a 40 segundos.

#### 6.2.8.1.6 Intervalo mínimo

El intervalo mínimo es el tiempo mínimo entre dos (2) trenes consecutivos, que garantiza la movilización segura del segundo tren sin que su recorrido sea afectado por la circulación del primero. Ese intervalo depende del desempeño del sistema de señalización, del tiempo máximo de parada y de las características del material rodante (longitud del tren, índices de aceleración y desaceleración). El intervalo mínimo es calculado mediante simulaciones en software, también es fijado por la disciplina de demanda, siendo para el Corredor Férreo del Sur de 2,5 minutos.

#### 6.2.8.1.7 Intervalo mínimo de retorno en la estación terminal

El intervalo mínimo de retorno es definido como el intervalo mínimo práctico en la estación terminal. Además de los parámetros ya mencionados en la definición del intervalo mínimo práctico, el intervalo mínimo de retorno depende de la configuración de la terminal.

#### 6.2.8.1.8 **Tiempos de Recorrido (Tiempo de vuelta)**

El tiempo de vuelta es la suma de los tiempos de recorrido entre cada estación, incluyendo el margen de regularidad, los tiempos de parada en estaciones e incluso el tiempo de retorno en las estaciones terminales. El tiempo de recorrido entre las estaciones es el resultado de las simulaciones en RailTraffic. Esta simulación considera las características técnicas del material rodante y del trazado (perfil y curvas) de la línea.

#### 6.2.8.1.9 **Velocidad Comercial**

La velocidad comercial se calcula a partir del tiempo de recorrido por la distancia objetivo, el tiempo de recorrido es tomado desde el momento en el que el tren sale de la primera estación terminal hasta el momento en el que llega a la última estación terminal de servicio y abre sus puertas. Los tiempos de estacionamiento en la primera y última estación se integran directamente en el tiempo de retorno, y no se incluyen en el tiempo comercial entre terminales. Este tiempo de recorrido y velocidad comercial es calculado mediante el Software RAILTRAFFIC desarrollado por Ardanuy.

#### 6.2.8.1.10 **Método para el cálculo**

El dimensionamiento de la línea empieza con la consideración de las previsiones de tráfico (demanda), las características del trazado de la línea, la ubicación de las estaciones y las dimensiones de los trenes. El trazado es utilizado como input para el simulador RailTraffic, incluye un cantonamiento de vías (cantón o circuito de vía fijo). Las dimensiones de los trenes incluyen la capacidad, las dimensiones de los equipamientos (puertas, asientos, etc.) y el desempeño (aceleración, desaceleración, etc.) del material rodante; estos datos son suministrados por el fabricante, conforme a una norma de comodidad predefinida. La capacidad del material rodante y el PPHPD previsto permite calcular el intervalo según la demanda, es decir, la frecuencia de los trenes necesaria para satisfacer la demanda. La factibilidad de este intervalo se verificará con el intervalo mínimo de la línea, a partir del trazado y el desempeño del material rodante. (debido a la Etapa en que se encuentra el proyecto (prefactibilidad) no es posible obtener datos tan detallados del material rodante a seleccionar).

La velocidad máxima se obtiene a partir de las características técnicas del material rodante y depende del tipo de trazado, es decir, el trazado debe cumplir las características y especificaciones geométricas técnicas esenciales para el desarrollo de la velocidad máxima del material rodante, considerándose el tiempo y la distancia necesarias para el desarrollo de esta velocidad y la distancia suficiente para el frenado con seguridad y confort.

Para la alternativa seleccionada, que comprende un tipo de sistema ferroviario, Metro pesado subterráneo, la distancia promedio entre las estaciones es de un (1) km y por el tipo de sistema, debe estar segregado al tránsito vehicular o peatonal, es decir, la vía

de tránsito ferroviario de ningún modo puede ser compartida con otro tipo de sistema de transporte, es por ello que se han determinado las velocidades máximas de 80 km/h.

Las velocidades comerciales se han obtenido de los resultados de simulación de cada alternativa, donde fueron considerados los siguientes parámetros de entrada:

- Material Rodante
  - Características y especificaciones Técnicas de Tracción – Frenado (genérico)
  - Tipo y longitud del material rodante
  - Tipo de trocha
  - Peso por eje
  - Resistencia al avance
  - Velocidad máxima
  - Energía
- Trazado geométrico de la línea férrea
  - Longitud de la línea férrea
  - Radios de las curvas y Pks de inicio y fin de cada una
  - Peralte máximo de cada curva
  - Velocidad máxima para cada una de las curvas
  - Gradientes
  - Localización y longitud de las estaciones
  - Seccionamiento por bloques o cantones fijos
- Parámetros operacionales
  - Velocidad máxima
  - Tiempos de parada en estación
  - Limitaciones de velocidad

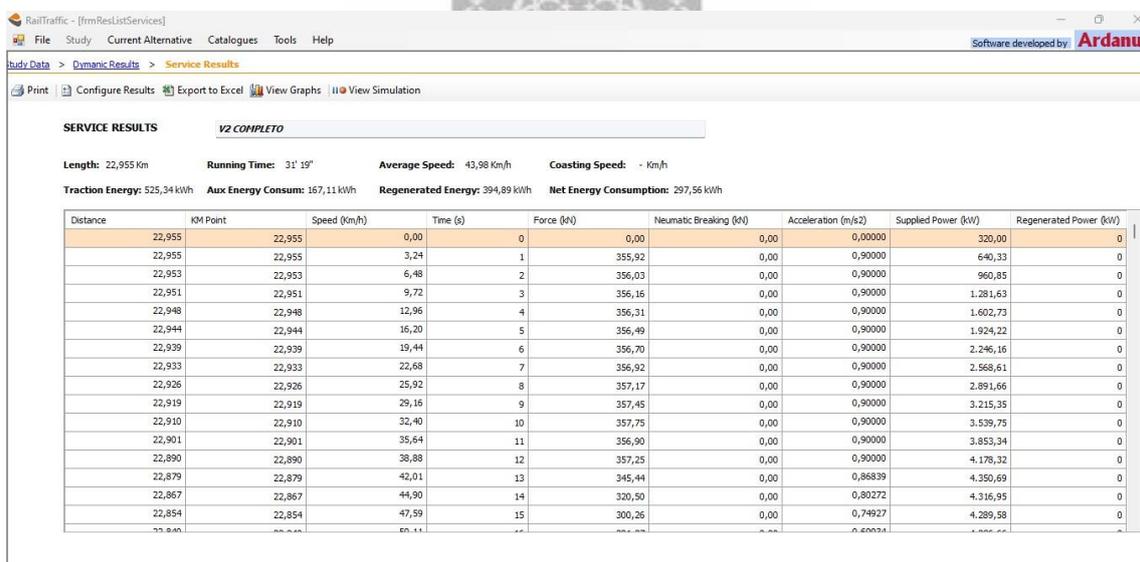
De los datos de referencia de otros proyectos con Sistema Metro Pesado, se han extraído datos específicos de material rodante necesarios para entregar el input que solicita el simulador RailTraffic; en este caso, se seleccionó como más similar a nuestro caso de estudio el tren CAF que utiliza actualmente el Metro de Medellín.



**Figura 52 Datos del Material Rodante**

### 6.2.8.1.11 Capacidad de la Línea férrea

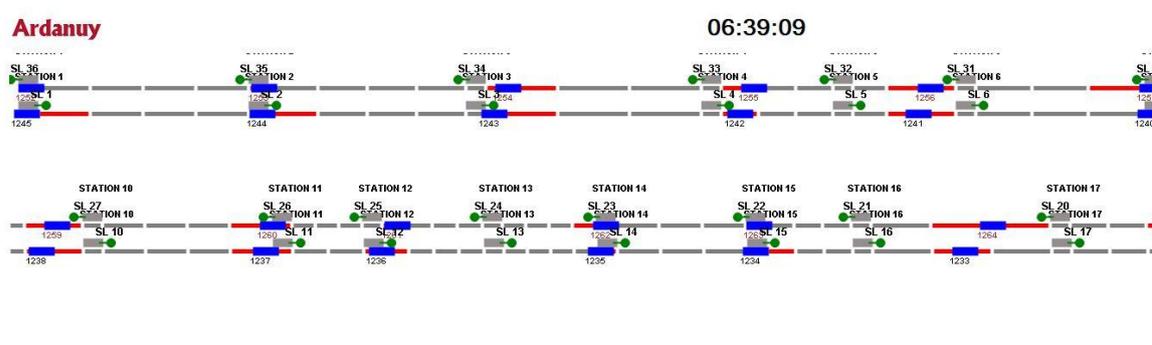
Para conocer el número de personas que se pueden transportar por hora, por dirección (PPHPD), es necesario conocer inicialmente la cantidad máxima de los trenes que pueden circular en hora pico, siendo la condición más desfavorable; para ello, se realiza una simulación de tránsito de trenes en el software RailTraffic con diferentes intervalos mínimos, con el objetivo de seleccionar el intervalo más adecuado. Es de resaltar la diferencia entre el número de personas que se pueden transportar por hora por dirección y el número de personas que se requieren transportar, siendo este último un dato suministrado por el área de transporte en los estudios de demanda y que el sistema del Corredor Férreo del Sur deberá cubrir.



**Figura 53 Pantallazo del Software RAILTRAFFIC con resultados de parámetros operacionales**



**Figura 54 Zoom de resultados de la Figura 50**

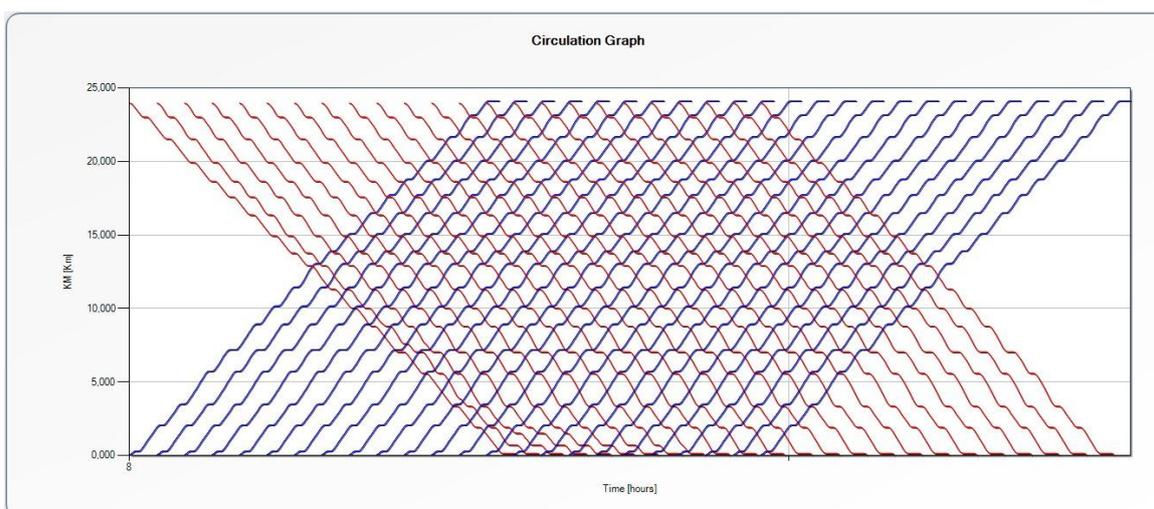


**Figura 55 Simulador RailTraffic**

Una vez obtenidos estos valores, se define la cantidad necesaria de trenes que se requieren para la alternativa seleccionada, en un intervalo mínimo en hora pico de 2,5 minutos, siendo el resultado, veintinueve (29) trenes circulando simultáneamente por la línea férrea; de este valor se considera un quince (15%) por encima, siendo éste el porcentaje de trenes necesarios para la reserva, teniendo un total de treinta y cuatro (34) trenes necesarios para la operación del Corredor Férreo del Sur.

Un insumo para la definición del tipo de tren y el número de vagones fue el resultado de la modelación de la etapa de análisis de la disciplina de transporte. Y se consideró que la alternativa de metro pesado debe tener una capacidad de mil ochocientos (1,800) pasajeros por tren. Con este dato es posible seleccionar la tipología del material rodante.

Ahora bien, conociendo los datos de capacidad de usuarios por tren, es necesario calcular la cantidad máxima de pasajeros que el sistema será capaz de transportar por dirección en una hora pico. Para ello, acudimos nuevamente al simulador RAILTRAFFIC quien nos arroja entre los resultados de simulación una malla horaria por hora para la alternativa seleccionada que consta de dieciocho (18) estaciones subterráneas y 23.141 km de longitud.



**Figura 56 Malla Horaria Alternativa Seleccionada con intervalo de 2,5 minutos, tiempo de análisis una (1) Hora**

En una hora el sistema es capaz de realizar cuarenta y ocho (48) circulaciones considerando ambas direcciones. Entonces, para obtener la cantidad pasajeros por

hora, por dirección (PPHPD), se multiplican veinticuatro (24) circulaciones por 1.800 pasajeros, por tren (capacidad máxima de un tren), siendo 43.200 PPHP.

Entonces, para definir los resultados de cada uno de los parámetros operacionales descritos anteriormente se presenta la siguiente tabla:

Cantidad de Estaciones	18
Cantidad Máxima de Trenes Circulando Simultáneamente	29
Cantidad Máxima de Trenes Necesarios	34
Cantidad Máxima de Pasajeros por Tren	1.800
PPHPD (según Capacidad Instalada)	43.200
PPHPD (según demanda) alternativa Metro Pesado más desfavorable, año 2055.	41.547
Velocidad Máxima del Tren	80 km/h
Velocidad Comercial	42,87 km/h
Tiempo de Parada en Estaciones	20 s
Tiempo de Parada en Terminales	40 s
Tiempo especial de parada en interconexión con otros sistemas	30 s
Intervalo mínimo	2 min 30 s
Tiempo de Vuelta	62 min 40 s

**Tabla 4 Parámetros Operacionales**

Se añaden a los tiempos de recorridos entre estaciones, los tiempos de parada en cada estación. Los tiempos de parada fueron calculados de acuerdo al número de descensos y ascensos realizado por la disciplina de transporte según los estudios de demanda por estación.

En cada estación, el tiempo de parada se compone de:

- Un tiempo técnico fijo de 8 segundos, que corresponde a la suma del tiempo de apertura de las puertas, del tiempo de señal de cierre y del tiempo de cierre de las puertas.
- Un tiempo variable dependiendo del número de descensos y ascensos de pasajeros en la estación. Para la estimación de este tiempo, se considera:
  - Cuatro (4) puertas dobles por cada costado del vagón de ancho libre de 1,4 m (se consideran 7 vagones por tren o sea un total de 28 puertas por tren).
  - Un flujo de 1.365 pasajeros / metros / segundos según la norma de la NFPA 130
  - Un coeficiente de penalización del 20% sobre el número de descensos y ascensos de pasajeros para tener en cuenta la distribución desigual de los usuarios en los andenes y en el interior de los trenes.
- Se considera un tiempo de parada total mínimo de 20 s para las diferentes estaciones, 30 s para las estaciones de interconexión con otros sistemas de

transporte masivo y un tiempo mínimo de 40 s en el andén de llegada de la estación terminal (tiempo adicional para verificar que ningún pasajero quede dentro del tren previo a la realización de la maniobra de retorno).

- Los tiempos obtenidos se redondean al múltiplo de 5 superior más cercano.

La siguiente tabla muestra la forma en que se registraron los resultados provenientes del simulador RAILTRAFFIC, observándose velocidades comerciales por interestación y tiempos de recorrido entre ellas.

ÍTEM	CANTÓN	Initial KM	Final KM	DISTANCIA DE INTER ESTACIÓN	TAMAÑO DE CDV DE LA INTER ESTACIÓN	Velocidad Máxima	Velocidad media (km/h)	Tiempos de Recorrido
1	CV00 V1	0	0.14					
2	<b>ESTACIÓN 1</b>	<b>0.14</b>	<b>0.29</b>			<b>80</b>		<b>Tiempo de parada</b>
3	CV01A V1	0.29	0.6975			80	De 1 a 2	
4	CV01B V1	0.6975	1.105	1.63	0.4075	80	47.12	00:02:16
5	CV01C V1	1.105	1.5125			80		
6	CV01D V1	1.5125	1.92			80		
7	<b>ESTACIÓN 2</b>	<b>1.92</b>	<b>2.07</b>			80		<b>00:00:20</b>
8	CV02A V1	2.07	2.39			80	De 2 a 3	00:01:57
9	CV02B V1	2.39	2.71	1.28	0.32	80	44	
10	CV02C V1	2.71	3.03			80		
11	CV02D V1	3.03	3.35			80		
12	<b>ESTACIÓN 3</b>	<b>3.35</b>	<b>3.5</b>			80		<b>00:00:20</b>
13	CV03A V1	3.5	4.02125			80	52.61	00:02:33
14	CV03B V1	4.02125	4.5425	2.085	0.52125	80		
15	CV03C V1	4.5425	5.06375					
16	CV03D V1	5.06375	5.585					
17	<b>ESTACIÓN 4</b>	<b>5.585</b>	<b>5.735</b>			80		<b>00:00:20</b>
18	CV04A V1	5.735	6.1716667			80	40.43	00:02:10
19	CV04B V1	6.171667	6.6083333	1.31	0.436666667	80		
20	CV04C V1	6.608333	7.045			80		
21	<b>ESTACIÓN 5</b>	<b>7.045</b>	<b>7.195</b>			80		<b>00:00:30</b>
22	CV05A V1	7.195	7.7266667			80	48.32	00:02:10
23	CV05B V1	7.726667	8.2583333	1.595	0.531666667	80		
24	CV05C V1	8.258333	8.79			80		
25	<b>ESTACIÓN 6</b>	<b>8.79</b>	<b>8.94</b>			80		<b>00:00:20</b>
26	CV06A V1	8.94	9.3			80	42.17	00:01:45
27	CV06B V1	9.3	9.66	1.08	0.36	80		
28	CV06C V1	9.66	10.02			80		
29	<b>ESTACIÓN 7</b>	<b>10.02</b>	<b>10.17</b>			80		<b>00:00:20</b>
30	CV07A V1	10.17	10.455	1.14	0.285	80	43.81	00:01:46

ÍTEM	CANTÓN	Initial KM	Final KM	DISTANCIA DE INTER ESTACIÓN	TAMAÑO DE CDV DE LA INTER ESTACIÓN	Velocidad Máxima	Velocidad media (km/h)	Tiempos de Recorrido
31	CV07B V1	10.455	10.74			80		
32	CV07C V1	10.74	11.025			80		
33	CV07D V1	11.025	11.31			80		
34	<b>ESTACIÓN 8</b>	<b>11.31</b>	<b>11.46</b>			80		<b>00:00:20</b>
35	CV08A V1	11.46	11.945			80	48.97	00:01:58
36	CV08B V1	11.945	12.43	1.455	0.485	80		
37	CV08C V1	12.43	12.915			80		
38	<b>ESTACIÓN 9</b>	<b>12.915</b>	<b>13.065</b>			80		<b>00:00:20</b>
39	CV09A V1	13.065	13.3			80	36.21	00:01:25
40	CV09B V1	13.3	13.535	0.705	0.235	80		
41	CV09C V1	13.535	13.77			80		
42	<b>ESTACIÓN 10</b>	<b>13.77</b>	<b>13.92</b>			80		<b>00:00:20</b>
43	CV10A V1	13.92	14.262667			80	40.01	00:01:46
44	CV10B V1	14.26267	14.605333	1.028	0.342666667	80		
45	CV10C V1	14.60533	14.948			80		
46	<b>ESTACIÓN 11</b>	<b>14.948</b>	<b>15.098</b>			80		<b>00:00:20</b>
47	CV11A V1	15.098	15.521333			80	27.45	00:01:20
48	CV11B V1	15.52133	15.944667	1.27	0.423333333	80		
49	CV11C V1	15.94467	16.368			80		
50	<b>ESTACIÓN 12</b>	<b>16.368</b>	<b>16.518</b>			80		<b>00:00:20</b>
51	CV12A V1	16.518	16.877			80	43.69	00:01:57
52	CV12B V1	16.877	17.236	1.077	0.359	80		
53	CV12C V1	17.236	17.595			80		
54	<b>ESTACIÓN 13</b>	<b>17.595</b>	<b>17.745</b>			80		<b>00:00:20</b>
55	CV13A V1	17.745	18.048333			80	40.17	00:01:35
56	CV13B V1	18.04833	18.351667	0.91	0.303333333	80		
57	CV13C V1	18.35167	18.655			80		
58	<b>ESTACIÓN 14</b>	<b>18.655</b>	<b>18.805</b>			80		<b>00:00:20</b>
59	CV14A V1	18.805	19.08625			80	41.35	00:01:51
60	CV14B V1	19.08625	19.3675			80		
61	CV14C V1	19.3675	19.64875	1.125	0.28125	80		
62	CV14D V1	19.64875	19.93			80		
63	<b>ESTACIÓN 15</b>	<b>19.93</b>	<b>20.08</b>			80		<b>00:00:20</b>
64	CV15A V1	20.08	20.44625			80	45.07	00:02:09
65	CV15B V1	20.44625	20.8125			80		
66	CV15C V1	20.8125	21.17875	1.465	0.36625	80		
67	CV15D V1	21.17875	21.545			80		
68	<b>ESTACIÓN 16</b>	<b>21.545</b>	<b>21.695</b>			80		<b>00:00:20</b>

ÍTEM	CANTÓN	Initial KM	Final KM	DISTANCIA DE INTER ESTACIÓN	TAMAÑO DE CDV DE LA INTER ESTACIÓN	Velocidad Máxima	Velocidad media (km/h)	Tiempos de Recorrido
69	CV16A V1	21.695	22.14	1.335	0.445	80	46.49	00:01:55
70	CV16B V1	22.14	22.585					
71	CV16C V1	22.585	23.03					
72	<b>ESTACIÓN 17</b>	<b>23.03</b>	<b>23.18</b>	0.795	0.265	80	27.66	<b>00:00:20</b>
73	CV17A V1	23.18	23.445					
74	CV17B V1	23.445	23.71					
75	CV17C V1	23.71	23.975					
76	<b>ESTACIÓN 18</b>	<b>23.975</b>	<b>24.125</b>	TOTAL		80	31.19	<b>00:00:50</b>
								33:48

**Tabla 5 Datos de tiempos y velocidades de recorrido**

Perfiles de velocidad y Aceleración resultantes del RAILTRAFFIC



**Figura 57 Perfiles de velocidad y aceleración**

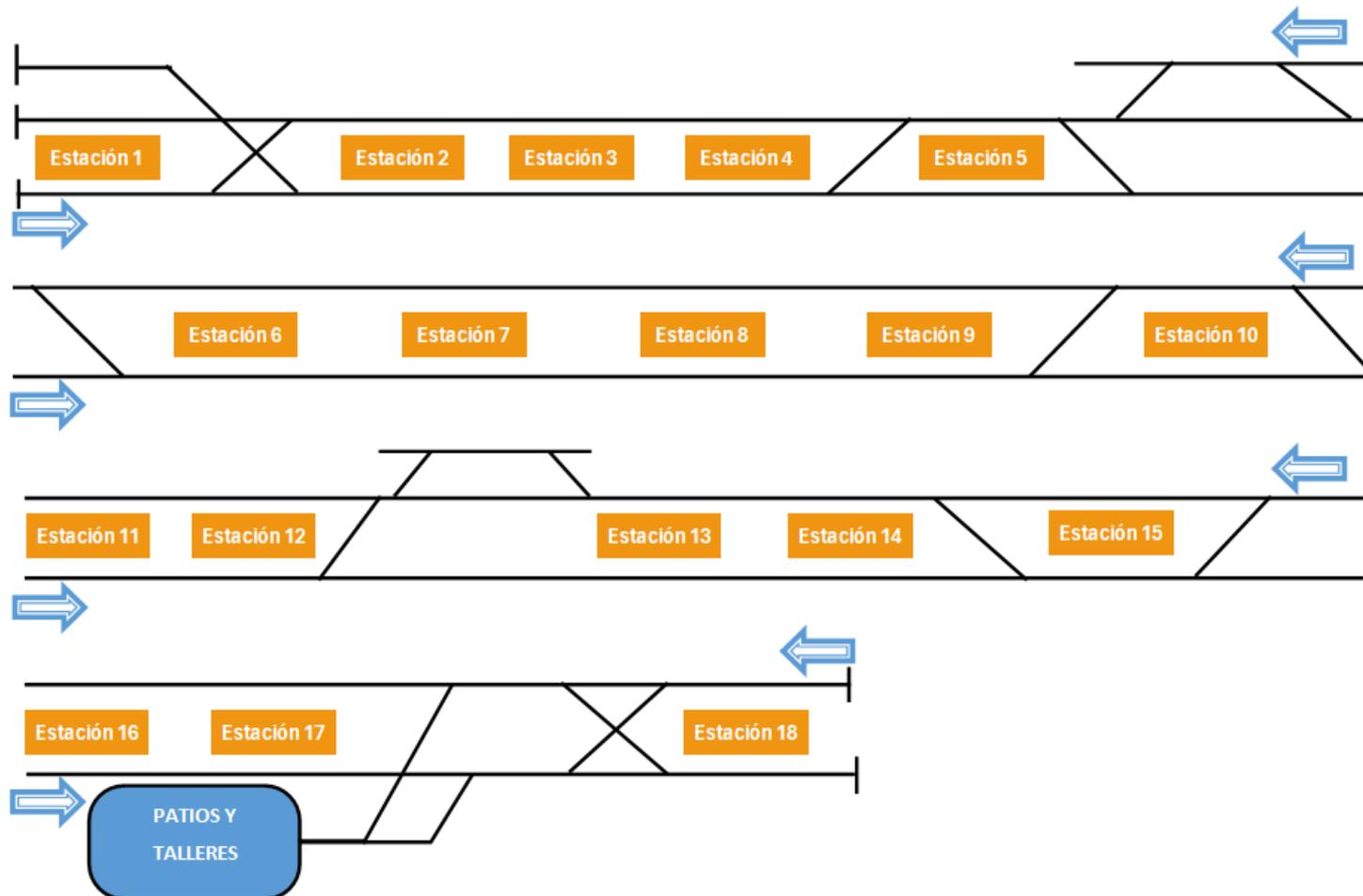
#### 6.2.8.1.12 Plano Esquemático de Vías

El diseño del plano esquemático de vías del Corredor Férreo del Sur es necesario para conocer los posibles bucles de operación regular o de emergencia.

De maneja general, el plano de vías del Corredor Férreo de Sur debe permitir:

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

A continuación, se presenta el plano de vías propuesto para el Corredor Férreo de Sur:



Instituto de Desarrollo Urbano

**Figura 58 Diagrama Esquemático de vías del Corredor Férreo del Sur**

## Horarios

De lunes a viernes se tiene una previsión del inicio de servicio comercial a partir de las 05:00 h y finalizando a las 23:00 h, teniendo un servicio de 18 horas continuas y dejando una ventana de mantenimiento desde las 23:00 h hasta las 04:30 h. La siguiente tabla muestra la propuesta para la evolución del intervalo a lo largo de un día de semana:

Lunes a viernes	
Franja Horaria	Intervalos (minutos)
05:00 - 05:50	8
05:50 - 06:30	4
06:30 - 08:27	2.5
08:27 - 09:52	3
09:52 - 16:28	4
16:28 - 17:24	3
17:24 - 19:36	2.5
19:36 - 20:20	3
20:20 - 21:20	4
21:20 - 23:00	8

**Tabla 6 Intervalo previsto en días de semana, de lunes a viernes**

Para los días sábado se considera un servicio un poco más holgado, por tratarse de fin de semana, teniendo en cuenta una menor afluencia de usuarios.

Sábados	
Franja Horaria	Intervalos (minutos)
05:00 - 06:00	10
06:00 - 07:00	6
07:00 - 10:00	4
10:00 - 12:01	5
12:01 - 12:56	6
12:56 - 19:40	5
19:40 - 21:40	6
21:40 - 23:00	10

**Tabla 7 Intervalo previsto en días sábados**

Para los domingos está previsto un horario de inicio del servicio 30 minutos después al horario habitual y un cierre 30 minutos antes, permitiendo una diferencia de una hora menos en la prestación del servicio a diferencia de los días de semana, se considera también un intervalo mucho más amplio.

Domingos y Feriados	
Franja Horaria	Intervalos (minutos)
05:30 - 07:00	15
07:00 - 08:00	12
08:00 - 10:00	10
10:00 - 11:03	9
11:03 - 19:35	8
19:35 - 20:45	10
20:45 - 22:30	15

**Tabla 8 Intervalo previsto en domingos y feriados**

### 6.3 PREDISEÑO DE LOS SISTEMAS NO FERROVIARIOS

El prediseño de los sistemas no ferroviarios comprende la descripción del equipamiento de baja tensión, necesarios para un servicio óptimo de las estaciones, Patio Taller y CCO, como lo son:

- Ascensores y escaleras eléctricas.
- Alarmas contra incendio.
- Instalaciones Eléctricas.
- Ventilación.
- Instalaciones hidrosanitarias.

Es decir, los servicios auxiliares de las estaciones, de los edificios los patios y talleres, y del túnel.

La alimentación de este equipamiento será mediante las subestaciones eléctricas del Corredor Férreo del Sur que brindaran alimentación a las CTE (Centro de Transformación Eléctrica). Para obtener más detalles acerca de las CTE se recomienda ver apartado 6.2.2 Alimentación de Energía

#### 6.3.1 ALCANCE Y OBJETIVOS

##### 6.3.1.1 Ascensores y escaleras mecánicas:

- Se deben seleccionar modelos de ascensores y escaleras mecánicas que cumplan con las normativas locales y estándares internacionales.
- Garantizar la accesibilidad universal en todas las estaciones, proporcionando ascensores para personas con movilidad reducida, carros de niños y bicicletas.

#### 6.3.1.2 Alarmas contra incendio:

- Proponer la implementación de un sistema de detección y alarma de incendios en todas las áreas de las estaciones y el Patio Taller.
- Incluir detectores de humo, rociadores automáticos, extintores y señalización adecuada.

#### 6.3.1.3 Instalaciones eléctricas:

- Prediseño de un sistema eléctrico eficiente y seguro que cumpla con la normativa local y los estándares internacionales.
- Contemplar la iluminación interior y exterior de las estaciones, así como la iluminación de emergencia en caso de fallos de energía.
- Incorporar sistemas de protección contra sobretensiones y fallas eléctricas.

#### 6.3.1.4 Ventilación:

- Proponer un sistema de ventilación mecánica que garantice la calidad del aire y el confort térmico en las estaciones y el Patio Taller y los túneles del corredor férreo.
- Considerar sistemas de filtración de aire y renovación del aire en áreas subterráneas.
- Evaluar la implementación de sistemas de climatización en función del clima y las necesidades específicas de las estaciones.

#### 6.3.1.5 Instalaciones hidrosanitarias:

- Proyectar un sistema de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y drenaje de aguas pluviales y residuales en todas las estaciones y el Patio Taller.
- Propuesta de baños públicos accesibles y con condiciones higiénicas adecuadas en las estaciones.
- Implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de recolección y almacenamiento de agua de lluvia para su reutilización.

### 6.3.2 ASCENSORES Y ESCALERAS MECÁNICAS

#### 6.3.2.1 Ascensores

Un ascensor en un sistema ferroviario subterráneo de tipo Metro es un dispositivo de transporte vertical diseñado para transportar pasajeros y, en algunos casos, cargas entre los diferentes niveles de una estación. Estos sistemas consisten en una cabina o plataforma que se mueve a lo largo de un sistema de guías verticales, impulsada por un motor eléctrico y sistemas de tracción. Los ascensores en las estaciones de Metro tienen como objetivo principal proporcionar accesibilidad a personas con movilidad reducida,

incluyendo usuarios de sillas de ruedas, personas mayores, personas con carritos de bebé y pasajeros con equipaje pesado. Los ascensores en sistemas de Metro deben cumplir con estrictos requisitos de seguridad y accesibilidad, y generalmente están equipados con sistemas de comunicación de emergencia y señalización adecuada para personas con discapacidades visuales y auditivas.

#### **6.3.2.1.1 Selección y dimensionamiento de los ascensores**

- Se deben seleccionar ascensores de tracción eléctrica con una capacidad adecuada para el flujo de pasajeros estimado en la estación. La capacidad de los ascensores debe ser suficiente para transportar personas con movilidad reducida, así como pasajeros con equipaje o bicicletas. Un tamaño común para ascensores en estaciones de transporte público es de 2m x 2m (4m<sup>2</sup>) con una capacidad de 20-25 personas o 1.400-1.800 kg. Se instalarán 4 ascensores por estación, de acuerdo con lo establecido en el Componente de Urbanismo y Espacio Público y considerando el prediseño arquitectónico de las estaciones.

#### **6.3.2.1.2 Ubicación y distribución de los ascensores en las estaciones**

Dos de los ascensores estarán en servicio para el transporte desde la altura nivel cero (0) hasta el nivel menos uno (-1) que corresponde al área no paga. Una vez el usuario atraviesa al área paga podrá descender al área de abordaje, es decir desde el nivel menos uno (-1) hasta los niveles menos dos (-2) o menos tres (-3) siendo menos tres (-3) el área de la plataforma de abordaje de trenes.

Los ascensores se ubicarán en puntos estratégicos de la estación, garantizando el acceso a todas las áreas y niveles. Se deben instalar cerca de las entradas principales, en las áreas de transición entre los pisos y en las plataformas de trenes.

#### **6.3.2.1.3 Accesibilidad universal y facilidad de uso**

Todos los ascensores deben cumplir con las normas de accesibilidad universal, incluyendo dimensiones adecuadas para sillas de ruedas, botones de control a una altura accesible y señalización en Braille. Además, se deben instalar sistemas de comunicación de emergencia y sistemas de información visual y auditiva para personas con discapacidades visuales y auditivas.

#### **6.3.2.2 Escaleras Mecánicas**

Las escaleras mecánicas en un sistema ferroviario subterráneo de tipo Metro son dispositivos de transporte inclinado que permiten a los pasajeros moverse de manera rápida y eficiente entre los diferentes niveles de una estación. Las escaleras mecánicas consisten en una serie de peldaños unidos a una cadena de tracción, que se desplaza en un circuito continuo a lo largo de una estructura de soporte, impulsada por un motor eléctrico. Los peldaños de las escaleras mecánicas forman una superficie plana y continua cuando están en posición horizontal, permitiendo a los pasajeros subir o bajar

con facilidad. Las escaleras mecánicas en las estaciones de Metro están diseñadas para facilitar el flujo de pasajeros y reducir la congestión, especialmente en las áreas de acceso y plataformas de trenes. Estos sistemas deben cumplir con normas de seguridad y accesibilidad, y pueden incluir características como barras de soporte, sensores de detección de objetos atrapados y botones de parada de emergencia.

#### **6.3.2.2.1 Selección y dimensionamiento de las escaleras mecánicas**

Se deben seleccionar escaleras mecánicas con una velocidad de desplazamiento adecuada (0.5-0.75 m/s) y un ancho de paso mínimo de 1m para facilitar el flujo de pasajeros. La capacidad de las escaleras mecánicas debe ser acorde al flujo de pasajeros estimado en la estación. Se instalarán 10 escaleras mecánicas en estaciones tipo uno (1). Dada la etapa actual del proyecto, aún no se han definido todas las estaciones y sus respectivos niveles. Las estaciones de tipo uno (1) cuentan con dos niveles ubicados debajo del área de acceso por torniquetes hasta llegar al andén de abordaje de trenes. Por cada nivel, se planean instalar cuatro escaleras mecánicas: dos para ascenso y dos para descenso. Esto resulta en un total de ocho (8) escaleras mecánicas para ambos niveles. Adicionalmente, se prevén dos (2) escaleras mecánicas adicionales que conectan el exterior con la zona de torniquetes, lo que lleva a un total general de diez (10) escaleras.

Por lo tanto, para todas las estaciones, se propone una escalera para cada ingreso hasta el área de torniquetes y cuatro escaleras por cada nivel hasta llegar al andén de abordaje de trenes.

#### **6.3.2.2.2 Ubicación y distribución de las escaleras mecánicas**

Las escaleras mecánicas se distribuirán de manera que faciliten el tránsito entre los distintos niveles de la estación, principalmente entre las áreas de acceso y las plataformas de trenes. Se deben ubicar de manera que optimicen el flujo de pasajeros y reduzcan la congestión. Se tiene previsto la instalación de cuatro escaleras mecánicas por entre pisos, dos (2) en cada extremo del andén y dos (2) en la zona central. cada una en una dirección diferente a la otra (subida / bajada).

#### **6.3.2.2.3 Accesibilidad universal y facilidad de uso**

Las escaleras mecánicas deben contar con barras de soporte en ambos lados y ser fácilmente accesibles desde las áreas de circulación de la estación. También deben tener sistemas de seguridad, como botones de parada de emergencia y sensores de detección de objetos atrapados.

#### **6.3.2.2.4 Planes de mantenimiento preventivo y correctivo**

**Ascensores:** Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones periódicas, lubricación y ajuste de componentes, y pruebas de funcionamiento y seguridad. El mantenimiento correctivo debe incluir procedimientos

para identificar y solucionar problemas específicos, como fallas en los sistemas de control, puertas atascadas o problemas con los sistemas de tracción.

**Escaleras mecánicas:** Implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya la inspección y limpieza de componentes, ajuste de la tensión de la cadena, y verificación de sistemas eléctricos y de seguridad. El mantenimiento correctivo debe incluir la reparación o reemplazo de componentes defectuosos, como peldaños, balizas de seguridad y sistemas de frenado.

**Capacitación y personal:** Es fundamental contar con un equipo de mantenimiento capacitado y experimentado para garantizar el correcto funcionamiento de los ascensores y escaleras mecánicas. Los técnicos de mantenimiento deben recibir capacitación en la operación, diagnóstico y reparación de estos sistemas, así como en la identificación de riesgos y la implementación de medidas de seguridad.

**Monitoreo y control:** Establecer un sistema de monitoreo y control que permita llevar un registro detallado del estado de los ascensores y escaleras mecánicas. Este sistema debe incluir indicadores clave de rendimiento (KPI) y alarmas para la detección temprana de problemas y la implementación de acciones correctivas.

**Gestión de repuestos e inventario:** Implementar un sistema de gestión de repuestos e inventario que garantice la disponibilidad de los componentes necesarios para el mantenimiento y reparación de los ascensores y escaleras mecánicas. Este sistema debe incluir un inventario actualizado de piezas y herramientas, así como un procedimiento para la adquisición y almacenamiento de repuestos.

**Contratos de mantenimiento:** Considerar la posibilidad de establecer contratos de mantenimiento con proveedores especializados que garanticen la prestación de servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para los ascensores y escaleras mecánicas. Estos contratos deben incluir cláusulas que establezcan los tiempos de respuesta, niveles de calidad y responsabilidades de cada parte.

Los ascensores y escaleras mecánicas en las estaciones del Corredor Férreo del Sur deben garantizar la accesibilidad, seguridad y eficiencia en el flujo de pasajeros. Para ello, se deben seleccionar equipos adecuados, distribuirlos de manera óptima en las estaciones y establecer planes de mantenimiento preventivo y correctivo que aseguren su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo

### 6.3.3 ALARMAS CONTRA INCENDIOS

Los sistemas de detección y alarma de incendios se trata de un conjunto de dispositivos y equipos interconectados diseñados para detectar señales de un incendio en una etapa temprana y alertar a las personas en el área afectada para que puedan evacuar de manera segura y tomar medidas para controlar el fuego. Estos sistemas son fundamentales en la protección de la vida y la propiedad, ya que proporcionan una advertencia temprana que permite una respuesta rápida en caso de un incendio.

Los sistemas de detección y alarma de incendios generalmente incluyen los siguientes componentes:

**Detectores de incendios:** Son dispositivos que identifican señales de un incendio, como humo, calor o llamas. Estos detectores pueden ser de diferentes tipos, como detectores de humo ionizantes, fotoeléctricos o aspirantes, y detectores de calor de tipo termovelocimétrico o de temperatura fija.

- Se deben instalar detectores de humo y calor en áreas críticas, como salas eléctricas, áreas de almacenamiento y áreas técnicas, para identificar rápidamente la presencia de un incendio.
- Es necesario seleccionar detectores compatibles con el entorno y las condiciones específicas de cada área (por ejemplo, detectores de humo fotoeléctricos para áreas con humedad alta o polvo).
- Se deben instalar sistemas de rociadores automáticos en áreas críticas y de alto riesgo, como salas eléctricas y áreas de almacenamiento, para controlar y extinguir incendios de manera rápida y efectiva.
- Se debe diseñar la red de suministro de agua y las bombas de presión para garantizar el suministro adecuado de agua a los rociadores en caso de un incendio.

**Panel de control:** Es el cerebro del sistema de detección y alarma de incendios. Recibe señales de los detectores de incendios y activa las alarmas y otros dispositivos de notificación. El panel de control también puede comunicarse con sistemas de monitoreo remoto y servicios de emergencia.

- Se deben conectar los detectores de incendios y los dispositivos de notificación a un panel de control centralizado que permita monitorear y gestionar el sistema de alarma de incendios.
- Es importante integrar el sistema de alarma de incendios con el sistema de comunicaciones y control de la estación para notificar al personal de operaciones y a los servicios de emergencia en caso de un incendio.

**Dispositivos de notificación:** Son los elementos encargados de emitir señales visuales y auditivas para alertar a las personas en el área afectada sobre la presencia de un incendio. Estos dispositivos pueden incluir sirenas, bocinas, luces estroboscópicas, campanas y otros elementos que emiten sonidos y/o luces.

- Se debe implementar un sistema de alarma de incendios que incluya dispositivos de notificación visual y auditiva, como sirenas y luces estroboscópicas, para alertar a las personas en caso de un incendio.

**Interfaces y comunicaciones:** Los sistemas de detección y alarma de incendios pueden interactuar con otros sistemas de seguridad y control del edificio, como sistemas de ventilación, extinción de incendios, control de acceso y sistemas de monitoreo de emergencia.

**Alimentación eléctrica y respaldo:** Los sistemas de detección y alarma de incendios requieren una fuente de alimentación confiable, generalmente proporcionada por la red

eléctrica de la estación. También pueden incluir sistemas de respaldo, como baterías o generadores, para garantizar su funcionamiento en caso de un corte de energía.

Considerar sistemas de extinción de incendios específicos para áreas con riesgos especiales, como sistemas de gas inertes para salas eléctricas o sistemas de espuma para áreas de almacenamiento de líquidos inflamables.

Los sistemas de detección y alarma de incendios son esenciales en cualquier entorno donde la vida y la propiedad estén en riesgo, como edificios residenciales, comerciales, industriales y de transporte, incluidas las estaciones de trenes y subterráneas. Estos sistemas deben ser diseñados, instalados y mantenidos de acuerdo con las normativas y estándares aplicables para garantizar su eficacia en la protección de la vida y la propiedad.

### 6.3.3.1 Sistemas de detección y alarma de incendios

Teniendo en cuenta las dimensiones de las estaciones subterráneas del Corredor Férreo del Sur el prediseño de los sistemas de detección y alarma de incendios se puede desarrollar de la siguiente manera:

**Identificación de áreas de riesgo:** Analizar la estación y dividirla en zonas con diferentes niveles de riesgo de incendio, como áreas técnicas, de almacenamiento, áreas de circulación y acceso de pasajeros, y salas de control.

**Selección de detectores de incendios:** Para cada área de riesgo, seleccionar el tipo de detector de incendios más adecuado:

- **Áreas técnicas y de almacenamiento:** detectores de humo fotoeléctricos o aspirantes y detectores de calor.
- **Áreas de circulación y acceso de pasajeros:** detectores de humo fotoeléctricos.
- **Salas de control:** detectores de humo fotoeléctricos y detectores de temperatura.

**Distribución de detectores de incendios:** Diseñar la disposición de los detectores en cada área, siguiendo las normativas y estándares aplicables. Por ejemplo, los detectores de humo se pueden instalar en el techo, con una distancia máxima entre ellos de 10 a 12 metros y a no más de 6 metros de las paredes.

**Panel de control:** Instalar un panel de control centralizado en una ubicación accesible y protegida dentro de la estación. El panel debe ser capaz de procesar las señales de todos los detectores de incendios y activar los dispositivos de notificación.

**Dispositivos de notificación:** Instalar dispositivos de notificación, como sirenas y luces estroboscópicas, en lugares estratégicos de la estación para asegurar que las alarmas sean audibles y visibles para todos los ocupantes. Considerar el uso de dispositivos de notificación con baterías de respaldo para garantizar su funcionamiento en caso de un corte de energía.

**Interfaces y comunicaciones:** Integrar el sistema de detección y alarma de incendios con otros sistemas de seguridad y control de la estación, como sistemas de ventilación,

extinción de incendios y control de acceso. Además, conectar el sistema a un centro de monitoreo remoto para asegurar una rápida respuesta de los servicios de emergencia.

**Alimentación eléctrica y respaldo:** Proveer al sistema de detección y alarma de incendios de una fuente de alimentación confiable y sistemas de respaldo, como baterías o generadores.

Este prediseño de los sistemas de detección y alarma de incendios para una estación del Corredor Férreo del Sur debe ser revisado y ajustado según las especificaciones y requisitos del proyecto y las normativas locales aplicables. También es importante considerar las prácticas recomendadas y las lecciones aprendidas de otros proyectos ferroviarios similares.

### 6.3.3.2 Cálculo de la cantidad de dispositivos por estación

Para estimar las cantidades de dispositivos de detección y alarma de incendios necesarios para una estación del Corredor Férreo del Sur, considerando las dimensiones de una estación tipo (30 metros de profundidad, tres pisos, 25 metros de ancho y 160 metros de largo), se puede realizar el siguiente prediseño:

#### Detectores de incendios:

- Áreas de circulación y acceso de pasajeros:
  - Dimensiones aproximadas: 160m (largo) x 25m (ancho) = 4,000 m<sup>2</sup> por piso (sin considerar áreas técnicas y de almacenamiento).
  - Distancia máxima entre detectores de humo: 10 a 12 metros.
  - Cantidad estimada de detectores de humo:  $(160\text{m} / 10\text{m}) \times (25\text{m} / 10\text{m}) = 16 \times 2.5 = 40$  detectores por piso.
  - Para los tres pisos:  $40 \text{ detectores} \times 3 \text{ pisos} = 120$  detectores de humo fotoeléctricos.

#### Áreas técnicas y de almacenamiento:

- Estimar un 10% del área total de la estación:  $4,000 \text{ m}^2 \times 0.1 = 400 \text{ m}^2$ .
- Cantidad estimada de detectores de humo:  $(20\text{m} / 10\text{m}) \times (20\text{m} / 10\text{m}) = 4$  detectores.
- Cantidad estimada de detectores de calor: mismo número que los detectores de humo, 4 detectores.
- Total de detectores de incendios:  $120 \text{ detectores de humo fotoeléctricos} + 4 \text{ detectores de humo para áreas técnicas} + 4 \text{ detectores de calor} = 128$  detectores.

#### Dispositivos de notificación:

- Distancia máxima entre dispositivos de notificación: 30 metros.
- Cantidad estimada de sirenas/luces estroboscópicas:  $(160\text{m} / 30\text{m}) \times (25\text{m} / 30\text{m}) = 5.3 \times 0.83 \approx 5 \times 1 = 5$  dispositivos por piso.
- Para los tres pisos:  $5 \text{ dispositivos} \times 3 \text{ pisos} = 15$  dispositivos de notificación.
- Panel de control: 1 panel de control centralizado para toda la estación.

#### Interfaces y comunicaciones:

Las cantidades de dispositivos adicionales dependerán de los sistemas específicos de ventilación, extinción de incendios y control de acceso que se instalen en la estación.

#### **Alimentación eléctrica y respaldo:**

Las cantidades de baterías de respaldo y generadores dependerán de los requisitos de energía de los dispositivos y equipos instalados en la estación.

Este prediseño de dispositivos de detección y alarma de incendios es una estimación básica a nivel de prefactibilidad y debe ser ajustado según las especificaciones y requisitos del proyecto, las normativas locales aplicables y las prácticas recomendadas en proyectos ferroviarios similares.

### **6.3.4 INSTALACIONES ELECTRICAS**

Para desarrollar el prediseño de la red de instalación eléctrica interna del Corredor Férreo del Sur, es necesario desglosar los componentes y los pasos a seguir en mayor detalle. A continuación, se proporciona una descripción más detallada de los elementos clave del prediseño de la red de distribución eléctrica:

#### **6.3.4.1 Identificación de puntos de conexión**

Se deben identificar los puntos de conexión a la red eléctrica local en cada estación, el Patio Taller y el Centro de Control de Operaciones. Estos puntos de conexión se deben seleccionar teniendo en cuenta la capacidad de suministro, la ubicación geográfica y las restricciones del entorno. Los puntos de conexión pueden describirse básicamente como los tableros principales de cada estación, Centro de Control y tablero principal de energía de auxiliares del Patio Taller.

#### **6.3.4.2 Diagrama unifilar**

Se debe desarrollar un diagrama unifilar que muestre la conexión entre las subestaciones eléctricas, los transformadores, los sistemas de distribución y los equipos y sistemas no ferroviarios. Este diagrama debe proporcionar una representación visual de la red de distribución eléctrica y facilitará la comprensión de su funcionamiento y configuración.

#### **6.3.4.3 Cálculos de carga y dimensionamiento**

Se deben realizar cálculos de carga a nivel de detalle para cada estación, el Patio Taller y el Centro de Control de Operaciones, considerando la demanda eléctrica de todos los sistemas y equipos. Estos cálculos deben permitir dimensionar adecuadamente los transformadores, el cableado y otros componentes de la red de distribución eléctrica.

#### **6.3.4.4 Especificaciones técnicas**

Se deben elaborar especificaciones técnicas detalladas para todos los componentes de la red de distribución eléctrica, incluidos los transformadores, el cableado, las canalizaciones y los sistemas de protección y control. Estas especificaciones deben

incluir información sobre los materiales, las capacidades, las normas aplicables y los requisitos de instalación y mantenimiento.

#### **6.3.4.5 Planos de distribución eléctrica**

Se deben desarrollar planos de distribución eléctrica que muestren la ubicación y la disposición de los componentes de la red eléctrica en cada estación, el Patio Taller y el Centro de Control de Operaciones. Estos planos también mostrarán la relación entre la infraestructura eléctrica y otros sistemas y estructuras del proyecto, como la arquitectura y la ingeniería civil.

#### **6.3.4.6 Cálculos de protección y coordinación**

Se deben llevar a cabo cálculos de protección y coordinación para garantizar la seguridad y la confiabilidad de la red de distribución eléctrica. Estos cálculos deben incluir la selección de dispositivos de protección, como interruptores automáticos y fusibles, y la determinación de las configuraciones óptimas para minimizar el riesgo de fallas y asegurar una respuesta rápida y eficiente ante eventos anormales.

#### **6.3.4.7 Análisis de contingencias y redundancia**

Se debe realizar un análisis de contingencias para identificar posibles fallas o interrupciones en la red de distribución eléctrica y evaluar su impacto en la operación del proyecto. Con base en este análisis, se deben incorporar elementos de redundancia y flexibilidad en el diseño, como circuitos de respaldo y opciones de reconfiguración.

#### **6.3.4.8 Evaluación de opciones de energía renovable y medidas de eficiencia energética**

Se debe llevar a cabo una evaluación de las opciones de energía renovable y medidas de eficiencia energética disponibles y factibles para el proyecto. Esto debe considerar la incorporación de paneles solares en las superficies disponibles en las estaciones y en el Patio Taller, sistemas de recuperación de energía del frenado regenerativo de los trenes y sistemas de iluminación LED de bajo consumo. También se evaluará la implementación de sistemas de control y monitoreo de energía para optimizar el consumo en tiempo real.

#### **6.3.4.9 Coordinación con otros sistemas y disciplinas**

Se debe establecer un proceso de coordinación y comunicación efectivo con otros sistemas y disciplinas del proyecto, como la ingeniería civil, la arquitectura y los sistemas ferroviarios. Esta coordinación asegurará la integración adecuada de la infraestructura eléctrica en el entorno construido y evitará conflictos o interferencias entre los diferentes sistemas y componentes.

#### **6.3.4.10 Estimación de costos y cronograma de construcción**

Se deben estimar los costos de construcción y mantenimiento de la red de distribución eléctrica, incluidos los costos de materiales, mano de obra y equipo. Además, se debe desarrollar un cronograma de construcción detallado que muestre las actividades, los plazos y los recursos necesarios para la implementación del proyecto. Este cronograma se integrará en el plan de gestión general del proyecto para garantizar una ejecución eficiente y coordinada de todas las actividades.

El diseño de la red de distribución eléctrica del Corredor Férreo del Sur debe proporcionar una base sólida para el diseño detallado y la construcción de la infraestructura eléctrica necesaria para respaldar el funcionamiento y la operación del proyecto. La atención cuidadosa a los detalles y la coordinación entre sistemas y disciplinas debe garantizar la entrega de una red eléctrica confiable, segura y eficiente que cumpla con las necesidades del proyecto y las expectativas de los usuarios.

#### **6.3.4.11 Transformadores**

Se instalarán transformadores en cada una de las estaciones del Corredor Férreo del Sur, específicamente en los CTE (Centros de Transformación Eléctrica), el Patio Taller y el Centro de Control de Operaciones para adaptar la tensión de la energía suministrada a los niveles requeridos por los diferentes sistemas y equipos. Los transformadores serán dimensionados adecuadamente según la demanda eléctrica y las necesidades específicas de cada ubicación.

#### **6.3.4.12 Cableado y canalizaciones**

El cableado eléctrico será dimensionado y especificado según la demanda eléctrica, la distancia entre las estaciones y las características del entorno subterráneo. Se deben considerar aspectos como la capacidad de corriente, la resistencia a la temperatura y la protección contra incendios. Las canalizaciones y bandejas portacables deben ser diseñadas para facilitar la instalación y el mantenimiento del cableado, así como para protegerlo de posibles daños.

#### **6.3.4.13 Sistemas de protección y control**

Los sistemas de protección y control deben garantizar la seguridad y la confiabilidad de la red eléctrica de los servicios auxiliares del Corredor Férreo del Sur. Se deben diseñar sistemas de protección que incluyan interruptores automáticos, fusibles y relés para detectar y aislar fallas. Además, se deben implementar sistemas de control y monitoreo que permitan la supervisión en tiempo real del estado de la red eléctrica, la detección temprana de problemas y la optimización del consumo de energía.

#### **6.3.4.14 Normativas y estándares aplicables**

El diseño de la red de distribución eléctrica se debe llevar a cabo en conformidad con las normativas locales y los estándares internacionales aplicables, como el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) en Colombia y las normas IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). Estos estándares y regulaciones garantizan la

seguridad, la calidad y la eficiencia de la infraestructura eléctrica, así como la compatibilidad con otros sistemas y equipos utilizados en el proyecto.

#### **6.3.4.15 Eficiencia energética y sostenibilidad**

El diseño de la red de distribución eléctrica también debe tratar de maximizar la eficiencia energética y la sostenibilidad del proyecto. Esto implica la selección de equipos de alta eficiencia, el uso de tecnologías de control y monitoreo para optimizar el consumo de energía, y la implementación de medidas de ahorro energético como la iluminación LED y sistemas de climatización eficientes. Además, se deben considerar opciones para integrar fuentes de energía renovable, como paneles solares o sistemas de recuperación de energía, para reducir la dependencia de la energía proveniente de la red eléctrica y disminuir la huella de carbono con la aplicación del proyecto.

#### **6.3.4.16 Planificación de la construcción y el mantenimiento**

Finalmente, se deben desarrollar planes detallados para la construcción y el mantenimiento de la red de distribución eléctrica. Esto incluye la identificación de las actividades, los recursos y los plazos necesarios para la implementación del proyecto, así como los procedimientos y las responsabilidades para la operación y el mantenimiento de la infraestructura eléctrica a lo largo de su vida útil.

El diseño de la red de distribución eléctrica para el Corredor Férreo del Sur debe ser un proceso integral que abarque los aspectos como la capacidad de suministro, la demanda eléctrica, la seguridad, la eficiencia energética y la sostenibilidad, la coordinación con otras disciplinas y la planificación de la construcción y el mantenimiento. Este enfoque garantiza una infraestructura eléctrica confiable y eficiente que respalde el funcionamiento y la operación del Corredor Férreo del Sur a lo largo de su vida útil.

#### **6.3.4.17 Cálculos de Prediseño de la Red de Distribución de Energía**

Para realizar el prediseño de la red de distribución eléctrica de una estación subterránea en el Corredor Férreo del Sur, primero es necesario estimar la demanda eléctrica total de la estación, teniendo en cuenta todos los sistemas y equipos eléctricos que se utilizarán en ella. Luego, se debe diseñar la red de distribución eléctrica para suministrar energía a los sistemas y equipos de manera eficiente y segura, cumpliendo con las normativas y estándares aplicables.

Dadas las dimensiones de una estación, consideraremos las siguientes cargas eléctricas en función de los sistemas y equipos eléctricos típicos:

- Iluminación: 25 W/m<sup>2</sup> (estimado para una iluminación adecuada en áreas públicas y de servicio).
- Ascensores: 4 ascensores x 20 kW cada uno (estimado para ascensores de tráfico medio)
- Escaleras mecánicas: 10 escaleras mecánicas x 15 kW cada una (estimado para escaleras mecánicas de tráfico medio)
- Ventilación y climatización: 1.5 W/m<sup>3</sup> (estimado para sistemas de ventilación y climatización eficientes)

- Sistemas de seguridad y prevención de incendios: 5 kW (estimado para sistemas de alarma, detección y extinción de incendios)
- Instalaciones hidrosanitarias: 10 kW (estimado para bombas de agua potable, aguas residuales y sistemas de tratamiento)
- Equipos de comunicación y control: 15 kW (estimado para sistemas de comunicación, señalización y control)

#### **Cálculo de la demanda eléctrica total de la estación:**

- Iluminación:  $25 \text{ W/m}^2 \times 160 \text{ m} \times 25 \text{ m} = 100 \text{ kW}$
- Ascensores:  $4 \times 20 \text{ kW} = 80 \text{ kW}$
- Escaleras mecánicas:  $10 \times 15 \text{ kW} = 150 \text{ kW}$
- Ventilación y climatización:  $1.5 \text{ W/m}^3 \times 160 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 180 \text{ kW}$
- Sistemas de seguridad y prevención de incendios: 5 kW
- Instalaciones hidrosanitarias: 10 kW
- Equipos de comunicación y control: 15 kW

Demanda eléctrica total de una estación =  $100 \text{ kW} + 80 \text{ kW} + 150 \text{ kW} + 180 \text{ kW} + 5 \text{ kW} + 10 \text{ kW} + 15 \text{ kW} = \mathbf{540 \text{ kW}}$

#### **6.3.4.18 Prediseño de la red de distribución eléctrica:**

- Acometida y transformadores:
  - Diseñar una acometida eléctrica desde la red de distribución de la compañía eléctrica para suministrar energía a cada estación.
  - Seleccionar transformadores de potencia adecuados para suministrar 540 kW a 0.9 de factor de potencia y considerando un margen de crecimiento del 20%.
- Tableros de distribución y protección:
  - Diseñar tableros de distribución y protección para los diferentes sistemas y equipos eléctricos, incluyendo interruptores automáticos, dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas, y sistemas de monitoreo y control.
  - Dividir la demanda eléctrica entre varios tableros de distribución para facilitar el mantenimiento y la operación, asignando circuitos específicos a cada uno de los sistemas y equipos eléctricos.

#### **6.3.4.19 Sistema de puesta a tierra:**

- Se debe considerar un sistema de puesta a tierra para proteger a las personas y equipos en caso de fallas eléctricas, cumpliendo con las normativas y estándares aplicables.
- Conectar todos los equipos, sistemas y estructuras metálicas a un sistema de puesta a tierra común para garantizar la continuidad eléctrica y minimizar las diferencias de potencial en caso de fallas.

#### 6.3.4.20 Cableado y canalizaciones:

- Seleccionar los cables y conductores eléctricos adecuados para la demanda eléctrica de cada circuito, considerando las pérdidas de energía y la capacidad de corriente admisible de acuerdo con las normativas y estándares aplicables.
- Utilizar canalizaciones y bandejas porta cables para proteger los cables y facilitar su mantenimiento e inspección.
- Diseñar la distribución de las canalizaciones y bandejas porta cables de manera eficiente, minimizando la longitud de los cables y evitando interferencias con otros sistemas y estructuras.
- 

#### 6.3.4.21 Iluminación de emergencia y sistemas de respaldo:

- Se debe diseñar un sistema de iluminación de emergencia que se active automáticamente en caso de fallas en la red eléctrica, garantizando la seguridad y la evacuación de las personas.
- Seleccionar sistemas de respaldo, como generadores de emergencia o sistemas de almacenamiento de energía, para suministrar energía a los sistemas críticos en caso de interrupciones en la red eléctrica.
- Para la red de distribución eléctrica de debe considerar la demanda eléctrica total de la estación a manera de permitir el suministro energía a los sistemas y equipos eléctricos de manera eficiente y segura, cumpliendo con las normativas y estándares aplicables. Este prediseño se puede utilizar como base para desarrollar un diseño detallado y especificaciones técnicas en la etapa de ejecución del proyecto.

### 6.3.5 VENTILACIÓN DE ESTACIONES

Los sistemas de ventilación y climatización del Corredor Férreo del Sur son fundamentales para garantizar un ambiente confortable, seguro y saludable en las dieciocho (18) estaciones subterráneas, el Patio Taller y el Centro de Control de Operaciones, teniendo en cuenta lo establecido por el componente de Urbanismo y Espacio Público y el diseño arquitectónico de las estaciones, en referencia a los espacios físicos. El diseño de estos sistemas debe considerar aspectos como la calidad del aire, la temperatura, la humedad y el control de ruido y vibraciones. A continuación, se describen los elementos clave del diseño de los sistemas de ventilación y climatización:

#### 6.3.5.1 Evaluación de las necesidades de ventilación y climatización

Se debe realizar una evaluación de las necesidades de ventilación y climatización en función del flujo de pasajeros, las características de las estaciones y las condiciones ambientales locales, de acuerdo con lo establecido por el componente de Urbanismo y Espacio Público y el diseño arquitectónico de las estaciones. Esta evaluación incluirá el análisis de la generación de calor y humedad, la contaminación del aire y el confort térmico en diferentes zonas del proyecto.

### 6.3.5.2 Selección y dimensionamiento de equipos

Se deben seleccionar y dimensionar los equipos de ventilación y climatización adecuados, como extractores, ventiladores, unidades de tratamiento de aire (UTAs o UMAs), sistemas de refrigeración y calefacción, y sistemas de control y monitoreo. La selección de equipos debe tener en cuenta factores como la eficiencia energética, la capacidad de carga, el mantenimiento y la compatibilidad con otros sistemas del proyecto.

### 6.3.5.3 Distribución del aire

Se debe diseñar la distribución del aire en las estaciones, el Patio Taller y el Centro de Control de Operaciones para garantizar una ventilación y climatización eficiente y uniforme. Esto incluye la ubicación y orientación de los conductos de suministro y retorno de aire, las rejillas de ventilación y las unidades de tratamiento de aire.

### 6.3.5.4 Sistemas de control y monitoreo

Se debe tener en cuenta el diseño de los sistemas de control y monitoreo para optimizar el funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización y garantizar la calidad del aire y el confort térmico. Estos sistemas incluirán sensores de temperatura, humedad, calidad del aire y ocupación, así como dispositivos de control y comunicación para ajustar automáticamente las condiciones del ambiente según las necesidades y preferencias de los usuarios.

### 6.3.5.5 Integración con la arquitectura y la estructura del proyecto

Los sistemas de ventilación y climatización se deben integrar en la arquitectura y la estructura del proyecto de manera estética y funcional. Esto incluye la ubicación de equipos y conductos en espacios técnicos y áreas de servicio, así como la consideración de aspectos como el ruido, las vibraciones y la accesibilidad para el mantenimiento y la limpieza.

### 6.3.5.6 Sistemas de seguridad y emergencia

Se deben diseñar sistemas de seguridad y emergencia para garantizar la protección de los usuarios y las instalaciones en caso de incendio u otros eventos adversos. Estos sistemas incluirán dispositivos de detección y extinción de incendios, sistemas de presurización de escaleras y salidas de emergencia, y sistemas de control y monitoreo para la evacuación y la coordinación de las respuestas de emergencia.

### 6.3.5.7 Normativas y estándares aplicables

El diseño de los sistemas de ventilación y climatización se llevará a cabo de acuerdo con las normativas y estándares aplicables tanto locales como internacionales. Esto incluirá el cumplimiento de las regulaciones de construcción y seguridad, las directrices de diseño de sistemas de transporte y las mejores prácticas en la industria de la climatización y ventilación.

### 6.3.5.8 Estimación de costos y cronograma de construcción

Se deben estimar los costos de construcción y mantenimiento de los sistemas de ventilación y climatización, incluidos los costos de materiales, mano de obra y equipo. Además, se debe desarrollar un cronograma de construcción detallado que muestre las actividades, los plazos y los recursos necesarios para la implementación del proyecto. Este cronograma se integrará en el plan de gestión general del proyecto para garantizar una ejecución eficiente y coordinada de todas las actividades.

### 6.3.5.9 Evaluación de opciones de eficiencia energética y sostenibilidad

Se deben evaluar las opciones de eficiencia energética y sostenibilidad en el diseño de los sistemas de ventilación y climatización, como el uso de tecnologías de recuperación de energía, sistemas de enfriamiento natural y sistemas de control y monitoreo inteligentes. Estas opciones ayudarán a reducir el consumo de energía y minimizar el impacto ambiental del proyecto.

El diseño de los sistemas de ventilación y climatización para el Corredor Férreo del Sur debe proporcionar una base sólida para el diseño detallado y la construcción de la infraestructura necesaria para garantizar un ambiente confortable, seguro y saludable en el proyecto. La atención cuidadosa a los detalles y la coordinación entre sistemas y disciplinas garantiza la entrega de sistemas de ventilación y climatización eficientes y efectivos que cumplan con las necesidades del proyecto y las expectativas de los usuarios.

### 6.3.5.10 Estimación de necesidades de climatización y ventilación en una estación tipo

Para calcular las necesidades de ventilación y climatización de una estación subterránea del Corredor Férreo del Sur, primero debemos considerar la ocupación y los flujos de aire requeridos por las normas y regulaciones aplicables. La ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) es una organización de referencia que establece pautas sobre ventilación y climatización en edificios y espacios públicos. Siguiendo el estándar ASHRAE 62.1 para ventilación en edificios, podemos estimar las necesidades de ventilación y climatización para estas estaciones subterráneas.

#### Cálculo del volumen de la estación:

Profundidad = 30 m (altura promedio, teniendo en cuenta tres pisos subterráneos)

Ancho = 25 m

Longitud = 160 m

Volumen de la estación = Profundidad x Ancho x Longitud = 30 m x 25 m x 160 m = 120,000 m<sup>3</sup>

#### Estimación del número de ocupantes:

La cantidad de ocupantes en una estación del Corredor Férreo del Sur puede variar ampliamente dependiendo de la hora del día y la demanda de tráfico. Para este cálculo, asumiremos un promedio de 1000 ocupantes en la estación durante las horas pico.

Se determina la tasa de ventilación por ocupante:

ASHRAE 62.1 recomienda una tasa de ventilación de 7.5 L/s (litros por segundo) por ocupante en áreas de espera de transporte público.

Tasa de ventilación total para ocupantes = 7.5 L/s x 1000 ocupantes = 7,500 L/s

### **Cálculo de la carga térmica interna:**

La carga térmica interna proviene de varias fuentes, como la iluminación, los equipos eléctricos y el calor generado por los ocupantes. Asumiendo una carga térmica interna de 60 W/m<sup>2</sup> (un valor típico para estaciones de transporte público), calculamos la carga térmica total de la estación:

Área del piso de la estación = Ancho x Longitud = 25 m x 160 m = 4,000 m<sup>2</sup>

Carga térmica interna = 60 W/m<sup>2</sup> x 4,000 m<sup>2</sup> = 240,000 W

### **Cálculo de la carga térmica externa:**

La carga térmica externa es el calor que se transfiere a través de las paredes, pisos y techos de la estación. Para estaciones subterráneas, la carga térmica externa puede ser significativamente menor debido a la inercia térmica del suelo. Sin embargo, aún debemos considerar la transferencia de calor desde los túneles y las áreas adyacentes. Estimar la carga térmica externa con precisión requiere análisis detallados, pero asumiremos una carga térmica externa de 20 W/m<sup>2</sup> para simplificar el cálculo:

Carga térmica externa = 20 W/m<sup>2</sup> x 4,000 m<sup>2</sup> = 80,000 W

### **Cálculo de la capacidad de climatización requerida:**

Sumamos la carga térmica interna y externa para determinar la capacidad de climatización necesaria:

Capacidad de climatización requerida = Carga térmica interna + Carga térmica externa  
= 240,000 W + 80,000 W = 320,000 W = 320 kW

### **Conversión de la tasa de ventilación a m<sup>3</sup>/h:**

Para convertir la tasa de ventilación total para ocupantes a m<sup>3</sup>/h, multiplicamos por 3600 (segundos por hora):

Tasa de ventilación total para ocupantes = 7,500 L/s x 3600 s/h = 27,000,000 L/h = 27,000 m<sup>3</sup>/h

**Estimación de la capacidad de ventilación adicional:**

Además de la ventilación requerida por ocupante, también debemos considerar la ventilación adicional necesaria para diluir contaminantes y garantizar una calidad del aire adecuada. Para simplificar el cálculo, asumiremos que la capacidad de ventilación adicional es igual al 50% de la tasa de ventilación para ocupantes:

$$\text{Capacidad de ventilación adicional} = 27,000 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.50 = 13,500 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Cálculo de la capacidad de ventilación total requerida:**

Sumamos la tasa de ventilación para ocupantes y la capacidad de ventilación adicional para determinar la capacidad de ventilación total requerida:

$$\text{Capacidad de ventilación total requerida} = 27,000 \text{ m}^3/\text{h} + 13,500 \text{ m}^3/\text{h} = 40,500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para una estación subterránea con 30 metros de profundidad, tres pisos, 25 metros de ancho y 160 metros de largo, estimamos una capacidad de climatización requerida de aproximadamente 320 kW y una capacidad de ventilación total requerida de 40,500 m<sup>3</sup>/h.

Para convertir la capacidad de climatización requerida estimada de 320 kW a BTU (unidades térmicas británicas) y toneladas de refrigeración, utilizamos las siguientes conversiones:

$$1 \text{ kW} = 3,412 \text{ BTU/h}$$

$$1 \text{ tonelada de refrigeración} = 12,000 \text{ BTU/h}$$

**Convirtiendo la capacidad de climatización requerida a BTU/h:**

$$\text{Capacidad de climatización requerida} = 320 \text{ kW} \times 3,412 \text{ BTU/h/kW} = 1,091,840 \text{ BTU/h}$$

**Convirtiendo la capacidad de climatización requerida a toneladas de refrigeración:**

$$\text{Capacidad de climatización requerida} = 1,091,840 \text{ BTU/h} \div 12,000 \text{ BTU/h/ton} = 90.987 \text{ toneladas de refrigeración.}$$

Por lo tanto, para una estación subterránea del Corredor Férreo del Sur, las necesidades de climatización estimadas son aproximadamente 1,091,840 BTU/h (1.09 millones de BTU/h) o 91 toneladas de refrigeración.

Estos valores son estimaciones y pueden variar en función de factores específicos del proyecto, como el tipo de trenes en uso, la cantidad de puertas de acceso y la cantidad de tráfico de pasajeros. Un análisis detallado y un diseño específico del sistema serán necesarios para determinar con precisión las necesidades de ventilación y climatización para el Corredor Férreo del Sur.

**6.3.6 VENTILACIÓN FORZADA EN TÚNELES**

La ventilación forzada es un aspecto importante en sistemas de metro subterráneos como el Corredor Férreo del Sur. La ventilación forzada en túneles es crucial para mantener una adecuada calidad del aire y un ambiente confortable para los pasajeros y empleados en el sistema de transporte tipo metro.

La ventilación forzada en túneles tiene como objetivo:

- Proveer un suministro de aire fresco a los túneles para mantener niveles adecuados de oxígeno y reducir la concentración de contaminantes.
- Mantener la temperatura y humedad relativa en un rango aceptable para la comodidad de los pasajeros y el correcto funcionamiento del equipo.
- Evacuar el humo y gases tóxicos en caso de incendio o alguna otra emergencia, garantizando la seguridad de los pasajeros y permitiendo el acceso de los equipos de rescate.

El sistema de ventilación forzada en túneles debe ser diseñado para cumplir con las normativas locales y las recomendaciones de organismos internacionales. Para ello, se deben considerar aspectos como la longitud de los túneles, el número de estaciones, las condiciones climáticas de la zona y las cargas térmicas generadas por el material rodante y los pasajeros.

Para diseñar un sistema de ventilación forzada en túneles adecuado para el Corredor Férreo del Sur, es necesario realizar un análisis detallado de los requerimientos de ventilación y las condiciones específicas del proyecto, incluyendo la selección de equipos como ventiladores, extractores, sistemas de filtración y control de temperatura y humedad.

La ventilación forzada en túneles es un componente esencial para garantizar la calidad del aire, la comodidad de los pasajeros y la seguridad en sistemas de metro subterráneos como el Corredor Férreo del Sur, y debe ser incluida en el diseño de sistemas de ventilación y climatización del proyecto.

Para realizar el prediseño del sistema de ventilación forzada en túneles del Corredor Férreo del Sur, se deben tener en cuenta las normas internacionales y las especificaciones del proyecto. Aquí se presenta un enfoque generalizado para el prediseño del sistema de ventilación forzada en túneles, con base en la información de las dimensiones del corredor férreo:

**Establecer criterios de diseño:** Primero, se deben establecer los criterios de diseño basados en las normas internacionales, como el NFPA 130, y las condiciones específicas del proyecto. Estos criterios incluyen la calidad del aire, la temperatura y la humedad, así como la capacidad para controlar la propagación del humo en caso de incendio.

**Determinar las cargas térmicas:** Se deben evaluar las cargas térmicas generadas por el material rodante, los pasajeros y los sistemas de iluminación y energía en los túneles. Esto permitirá dimensionar adecuadamente el sistema de ventilación.

**Calcular las tasas de ventilación:** Con base en las cargas térmicas y los criterios de diseño, se deben calcular las tasas de ventilación requeridas para mantener la calidad del aire, la temperatura y la humedad en niveles aceptables. La tasa de ventilación típica para túneles de metro subterráneos varía entre 5 y 10 cambios de aire por hora (ACH),

aunque esta cifra puede variar según las condiciones específicas del proyecto, que deben estudiarse con más detalle en etapas posteriores.

**Seleccionar los equipos de ventilación:** Se deben seleccionar los equipos de ventilación, como ventiladores y extractores, que sean capaces de proporcionar las tasas de ventilación requeridas y cumplir con los criterios de diseño. Los equipos deben ser eficientes energéticamente y cumplir con las normas de ruido y vibraciones.

**Distribución de los equipos de ventilación:** Los equipos de ventilación deben estar distribuidos a lo largo de los túneles y las estaciones de manera que se garantice una distribución uniforme del aire y se minimice la recirculación del aire viciado. Es importante considerar la ubicación de los pozos de ventilación, las rejillas y los ductos de aire en el diseño.

**Sistema de control de la ventilación:** Se debe implementar un sistema de control de la ventilación que permita ajustar la tasa de ventilación en función de las condiciones ambientales y las demandas del sistema de transporte. Esto incluye la monitorización de la calidad del aire, la temperatura y la humedad, así como la detección de humo y gases tóxicos en caso de incendio.

**Planificar el mantenimiento:** Finalmente, se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación a lo largo de su vida útil.

Este enfoque generalizado debe ser adaptado y ajustado en la siguiente etapa, según las condiciones específicas del Corredor Férreo del Sur y las normativas locales aplicables. Un análisis detallado de los requerimientos de ventilación y las condiciones del proyecto será necesario para diseñar un sistema de ventilación forzada en túneles que cumpla con las expectativas de calidad del aire, comodidad y seguridad.

ALCALDIA MAYOR  
BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

#### 6.3.6.1 Cálculo de la Ventilación Forzada en Túneles

El Corredor Férreo del Sur está compuesto por 18 estaciones separadas en promedio de 1,3 km cada una, la longitud total del túnel son 23.141km.

Una distancia típica entre pozos de ventilación para sistemas de metro subterráneos es de 500 a 1000 metros. Para este caso, tomaremos una distancia promedio de 750 metros entre pozos de ventilación. Como la longitud del Corredor Férreo del Sur es de 23.141 km, esto nos resulta

Cantidad de pozos de ventilación por tubo =  $(23141 \text{ m} / 750 \text{ m}) \approx 61.7$

Redondeando hacia arriba, tendremos aproximadamente 62 pozos de ventilación.

Se debe tener en cuenta que cada estación debe tener su propio sistema de ventilación forzada, por lo tanto, se reduce la cantidad de pozos solo en las interestaciones, considerando que el promedio entre estaciones es de 1.3 km, entonces debe haber un pozo por zona intermedia. En ese caso serían 17 pozos de ventilación por tubo. Considerando 1 tubo por dirección, se tienen entonces 34 pozos, solo en interestaciones.

### **6.3.6.1.1 Dimensiones de los pozos de ventilación:**

Las dimensiones de los pozos de ventilación deben ser adecuadas para albergar los ventiladores y equipos asociados, así como para proporcionar el flujo de aire necesario. El tamaño exacto de los pozos de ventilación dependerá de las necesidades específicas de ventilación y las características de detalle del proyecto que deben estudiarse en fases posteriores.

Suponiendo que se requiere mover un caudal de aire de 30 m<sup>3</sup>/s por pozo de ventilación, y suponiendo una velocidad de 5 m/s en el pozo, se obtiene un área de la sección transversal de 6 m<sup>2</sup>. Entonces para mover ese flujo de aire y que exista poca resistencia al flujo, los pozos de ventilación deberán tener un diámetro aproximado de 3.5 metros.

Para un sistema tipo metro subterráneo como el Corredor Férreo del Sur, un tamaño de pozo de ventilación de tipo rectangular razonable podría ser de aproximadamente 3 metros de ancho y 4 metros de altura. Estas dimensiones permitirían albergar ventiladores de tamaño adecuado y proporcionar el flujo de aire necesario sin ser excesivamente grandes.

Se debe tener en cuenta que estas dimensiones son solo una estimación y deberían ajustarse según las características más detalladas y específicas del proyecto y considerando las regulaciones locales.

### **6.3.6.1.2 Cantidad de pozos de ventilación:**

Dado que la longitud del Corredor Férreo del Sur es de 23.141 km con estaciones ubicadas a una distancia promedio de 1,3km y se requiere un pozo de ventilación aproximadamente por cada Inter estación, considerando que cada estación ya cuenta con un sistema de ventilación apropiado, esto resulta en aproximadamente 17 pozos de ventilación para cada tubo, es decir 34 pozos de ventilación.

Para obtener más detalles sobre la cantidad de pozos de ventilación para el Corredor Férreo del Sur, aunque se utilizó una aproximación basada en la distancia entre estaciones, es importante reconocer que la cantidad y ubicación de los pozos de ventilación en un sistema de metro subterráneo también dependerá de varios factores adicionales, como:

- Topografía del terreno y condiciones geológicas: la ubicación de los pozos de ventilación puede verse afectada por las condiciones geológicas y topográficas del área. Las áreas con terreno montañoso, suelos inestables o condiciones de roca difíciles pueden requerir una mayor cantidad de pozos de ventilación.
- Diseño y geometría del túnel: la cantidad de pozos de ventilación también dependerá del diseño y la geometría del túnel, incluida la longitud de las secciones rectas y curvas, la profundidad de los túneles y la presencia de intersecciones o bifurcaciones.
- Necesidades de flujo de aire y calidad del aire: la cantidad de pozos de ventilación necesarios también dependerá de la tasa de flujo de aire requerida y las regulaciones de calidad del aire aplicables. Los sistemas de metro con mayores necesidades de flujo de aire y estándares de calidad del aire más estrictos pueden requerir más pozos de ventilación para garantizar que se cumplan estos requisitos.

- Requisitos de seguridad y evacuación: la cantidad de pozos de ventilación también puede verse afectada por los requisitos de seguridad y evacuación. Por ejemplo, es posible que se requieran pozos de ventilación adicionales en áreas con mayor riesgo de incendios, inundaciones u otros eventos que puedan afectar la seguridad de los pasajeros y el personal del metro.
- Requisitos de construcción y mantenimiento: la cantidad y ubicación de los pozos de ventilación también pueden verse afectadas por las necesidades de construcción y mantenimiento del sistema de metro. Por ejemplo, es posible que se requieran pozos de ventilación adicionales para proporcionar acceso a las áreas de trabajo durante la construcción y el mantenimiento del túnel.

Teniendo en cuenta todos estos factores, es fundamental realizar un análisis detallado y específico de las condiciones y requisitos del Corredor Férreo del Sur para determinar la cantidad y ubicación óptimas de los pozos de ventilación. Es posible que sea necesario ajustar la cantidad estimada de 34 pozos de ventilación mencionada anteriormente en función de estos factores y del asesoramiento de los ingenieros especializados en sistemas de ventilación y túneles que deberán realizar estudios más detallados en fases posteriores a este proyecto de prediseño.

#### **6.3.6.1.3 Potencia eléctrica consumida por los ventiladores:**

Para profundizar en la cantidad de ventiladores y la potencia necesaria para el sistema de ventilación forzada de túneles del Corredor Férreo del Sur, es importante considerar los siguientes aspectos:

**Tasa de flujo de aire requerida:** la cantidad de ventiladores y la potencia de cada ventilador dependerán de la tasa de flujo de aire requerida en los túneles y las estaciones. La tasa de flujo de aire puede variar según el diseño y las condiciones específicas del sistema de metro, así como las regulaciones y estándares aplicables.

**Presión estática y dinámica:** la potencia de los ventiladores también dependerá de la presión estática y dinámica en el sistema de ventilación. La presión estática es la presión causada por la resistencia al flujo de aire en los ductos, mientras que la presión dinámica se debe al movimiento del aire. Ambas presiones deben tenerse en cuenta al seleccionar y dimensionar los ventiladores.

**Eficiencia de los ventiladores:** la eficiencia de los ventiladores es un factor clave al seleccionar y dimensionar los ventiladores. Ventiladores más eficientes pueden requerir menos potencia para mover el mismo volumen de aire que los ventiladores menos eficientes. Es importante seleccionar ventiladores con una alta eficiencia energética para reducir el consumo de energía y los costos operativos.

**Redundancia y confiabilidad:** para garantizar la redundancia y la confiabilidad del sistema de ventilación, es necesario instalar ventiladores adicionales para que puedan asumir la carga en caso de que un ventilador falle o requiera mantenimiento. Por lo general, se instalan dos ventiladores en paralelo, con uno en operación y otro en espera.

Teniendo en cuenta estos factores, podemos realizar un cálculo aproximado de la cantidad de ventiladores y la potencia necesaria. Supongamos que la tasa de flujo de aire requerida en los túneles es de 200 m<sup>3</sup>/s, y los ventiladores tienen una eficiencia del

70%. La presión estática y dinámica combinadas en el sistema de ventilación podrían ser de aproximadamente 2.500 Pa.

Usando la ecuación de potencia para ventiladores:

$$\text{Potencia} = (\text{Tasa de flujo de aire} \times \text{Presión}) / (\text{Eficiencia} \times 102)$$

$$\text{Potencia} = (200 \text{ m}^3/\text{s} \times 2.500 \text{ Pa}) / (0,7 \times 102)$$

Potencia  $\approx$  **71,43 kW por ventilador**

Si se instalan dos ventiladores en paralelo en cada pozo de ventilación para garantizar redundancia y confiabilidad, la potencia total necesaria para un solo pozo sería de aproximadamente **142,86 kW**. Con 34 pozos de ventilación (17 para cada tubo), la potencia total necesaria para el sistema de ventilación sería de aproximadamente 4.857,24 kW.

Es importante mencionar que estos cálculos son aproximados, y se basan en prediseños. Se deberá realizar un análisis más detallado en etapas posteriores para lograr la exactitud deseada contando con todas las características y detalles del proyecto.

#### **6.3.6.1.4 Sistema de Control de ventilación**

El sistema de control para la ventilación forzada en túneles en el Corredor Férreo del Sur debe ser diseñado para garantizar la eficiencia energética y la seguridad de los pasajeros y el personal de las estaciones. Un sistema de control adecuado para la ventilación del túnel y las estaciones debe incluir los siguientes componentes y características:

- **Controladores lógicos programables (PLC):** Los PLC son dispositivos electrónicos utilizados en sistemas de control industrial para automatizar procesos y operaciones. En el caso del sistema de ventilación del Corredor Férreo del Sur, los PLC pueden ser utilizados para controlar el funcionamiento de los ventiladores, regular las velocidades de los ventiladores y monitorear las condiciones ambientales en los túneles y las estaciones.
- **Sensores y monitoreo en tiempo real:** Los sensores pueden ser instalados en los túneles y las estaciones para monitorear constantemente las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la concentración de gases y humo. La información recopilada por estos sensores puede ser transmitida a los PLC y utilizada para ajustar automáticamente la operación de los ventiladores y mantener un ambiente seguro y cómodo para los pasajeros y el personal.
- **Redundancia y falla segura:** Para garantizar la confiabilidad del sistema de control y evitar fallos que puedan poner en peligro la seguridad de los pasajeros y el personal, es esencial incorporar redundancia y características de falla segura en el sistema de control. Esto podría incluir el uso de PLC redundantes y sistemas de respaldo de energía para garantizar que el sistema de control siga funcionando en caso de una falla en un componente o una interrupción del suministro eléctrico.
- **Control de alternancia:** El sistema de control también debe ser capaz de alternar automáticamente entre los ventiladores en operación y los ventiladores

en espera para equilibrar el desgaste y extender la vida útil de los ventiladores. Esta característica también puede ser útil para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de los ventiladores sin afectar la operación del sistema de ventilación.

- **Interfaz hombre-máquina (HMI) y supervisión centralizada:** Una interfaz hombre-máquina adecuada debe ser implementada para permitir a los operadores y al personal de mantenimiento monitorear y controlar el sistema de ventilación de manera eficiente. La HMI puede incluir paneles de control en cada estación y una estación de control centralizada que monitoree y controle todo el sistema de ventilación en tiempo real.
- **Integración con otros sistemas de seguridad y emergencia:** El sistema de control de la ventilación debe estar integrado con otros sistemas de seguridad y emergencia del Corredor Férreo del Sur, como sistemas de detección y extinción de incendios y sistemas de evacuación de emergencia. Esto permitirá una respuesta rápida y coordinada en caso de incidentes o situaciones de emergencia.

Estos son solo algunos de los aspectos clave a considerar para el diseño de un sistema de control para la ventilación del Corredor Férreo del Sur en próximas etapas. Es de recordar que un diseño detallado debe estar basado en los datos de entrada precisos del proyecto, también será necesario realizar consultas con expertos en sistemas de control y automatización para garantizar un sistema de control eficiente y confiable.

### 6.3.7 INSTALACIONES HIDROSANITARIAS

#### 6.3.7.1 Abastecimiento de agua potable y alcantarillado

- Red de suministro de agua potable: para el diseño de la red de abastecimiento de agua potable de las estaciones del Corredor Férreo del Sur, se debe considerar lo siguiente:
  - Realizar un estudio de la capacidad y calidad de la red de suministro de agua potable existente en la ciudad de Bogotá y Soacha.
  - Calcular la demanda de agua para cada estación considerando el número de usuarios, dispositivos sanitarios y actividades de mantenimiento.
  - Seleccionar tuberías de PVC o polietileno de alta densidad (HDPE) para el suministro de agua, considerando el caudal y la presión requerida.
  - Instalar válvulas de control y regulación para mantener la presión adecuada y garantizar un suministro constante de agua a cada estación.
  - Diseñar una red de distribución de agua en cada estación que incluya puntos de suministro para baños públicos, áreas de servicio y mantenimiento, y sistemas de climatización y extinción de incendios.
- Red de alcantarillado: para el diseño de la red de aguas residuales de las estaciones del Corredor Férreo del Sur, se debe considerar lo siguiente:
  - Evaluar la capacidad y condiciones de la red de alcantarillado existente en la ciudad.

- Calcular la demanda de desagüe para cada estación considerando la cantidad de dispositivos sanitarios y la generación de aguas residuales.
- Diseñar una red de drenaje separativa en cada estación, utilizando tuberías de PVC y cámaras de inspección y mantenimiento en puntos estratégicos.
- Conectar las redes de drenaje de cada estación a la red de alcantarillado existente, garantizando un sistema eficiente de evacuación de aguas residuales y pluviales.

#### 6.3.7.2 Pozos de recolección de aguas residuales y sistemas de bombeo:

- Se deben considerar pozos de recolección de aguas residuales en cada estación subterránea para almacenar temporalmente las aguas residuales generadas antes de ser bombeadas hacia la red de alcantarillado.
- Seleccionar bombas sumergibles de capacidad adecuada para el caudal y la altura de bombeo requerida en cada estación, considerando la profundidad de 30 metros y las posibles pérdidas de carga en las tuberías de impulsión.
- Incluir sistemas de control y automatización para el funcionamiento de las bombas, como sensores de nivel, arrancadores suaves y sistemas de protección contra sobrecargas y fallas eléctricas.
- Diseñar sistemas de ventilación y acceso para el mantenimiento de los pozos y las bombas, garantizando condiciones adecuadas de trabajo y seguridad para el personal.
- Implementar sistemas de alarma y monitoreo para detectar posibles fallos o inundaciones en los pozos de recolección y bombas, permitiendo una rápida intervención en caso de emergencia.

#### 6.3.7.3 Baños públicos y accesibilidad

- Diseñar la red de drenaje de los baños públicos para que desemboque en los pozos de recolección de aguas residuales, utilizando tuberías con pendientes adecuadas y sifones para prevenir la entrada de olores y gases en los espacios públicos.
- Instalar válvulas de retención en las tuberías de drenaje de los baños para evitar el reflujó de aguas residuales en caso de fallos en el sistema de bombeo o inundaciones.
- **Ubicación y distribución de baños públicos:**
  - Establecer la cantidad de baños públicos requeridos en cada estación, teniendo en cuenta el flujo de usuarios y los estándares locales.
  - Diseñar baños públicos separados para hombres, mujeres y personas con discapacidades, garantizando la accesibilidad y la comodidad de todos los usuarios.
  - Distribuir los dispositivos sanitarios en función de las normativas locales y las necesidades de cada estación, considerando la capacidad de los sistemas de suministro de agua y drenaje.

- **Materiales y acabados:**

- Seleccionar materiales duraderos y de fácil mantenimiento para las instalaciones sanitarias, como cerámicas y acero inoxidable.
- Utilizar dispositivos sanitarios de bajo consumo, como grifos con temporizador y inodoros con doble descarga, para reducir el uso de agua.
- Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales

#### 6.3.7.4 Tratamiento de aguas residuales:

- Evaluar la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en cada estación, como plantas de tratamiento compactas o sistemas de filtración y desinfección.
- Seleccionar el tipo de tratamiento adecuado en función de las características de las aguas residuales, los requisitos legales locales y las posibilidades de reutilización.

#### 6.3.7.5 Reutilización de aguas tratadas:

- Identificar posibles aplicaciones para la reutilización de aguas tratadas en cada estación, como riego de áreas verdes, limpieza de áreas públicas y uso en sistemas de climatización.
- Diseñar sistemas de almacenamiento y distribución de aguas tratadas para su reutilización, incluyendo tanques de almacenamiento, bombas, tuberías y dispositivos de control y monitoreo.
- Considerar la implementación de sistemas de recolección y almacenamiento de agua de lluvia para su reutilización en aplicaciones no potables, como riego y limpieza.

#### 6.3.7.6 Monitoreo y control:

- Establecer sistemas de monitoreo y control para garantizar la calidad del agua tratada y su adecuada reutilización, incluyendo sensores y dispositivos de medición.
- Definir protocolos de mantenimiento y seguimiento para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales, así como la calidad del agua.
- Integración de sistemas y coordinación con otras disciplinas.

#### 6.3.7.7 Coordinación con el diseño eléctrico y de ventilación:

- Coordinar con los equipos de diseño eléctrico y de ventilación para garantizar la disponibilidad de energía y la adecuada ventilación de las áreas de instalaciones hidrosanitarias.

- Planificar la ubicación de los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales, de manera que no interfieran con otros sistemas, como la distribución eléctrica y la ventilación.

#### 6.3.7.8 Coordinación con el diseño estructural y arquitectónico:

- Colaborar con los equipos de diseño estructural y arquitectónico para integrar las instalaciones hidrosanitarias en el diseño de las estaciones y garantizar la accesibilidad y funcionalidad de los baños públicos y áreas de servicio.
- Considerar las cargas y requerimientos estructurales de los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales al diseñar los espacios y estructuras de las estaciones.

#### 6.3.7.9 Cumplimiento de normativas y estándares locales e internacionales:

- Se debe asegurar que el diseño de las instalaciones hidrosanitarias del Corredor Férreo del Sur cumple con las normativas locales y los estándares internacionales de diseño y construcción, así como con las recomendaciones y buenas prácticas de la industria ferroviaria.
- Obtener las aprobaciones y permisos necesarios para la implementación de los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales, y garantizar el cumplimiento de los requisitos legales y ambientales.
- El prediseño de las instalaciones hidrosanitarias del Corredor Férreo del Sur debe ser revisado y ajustado a lo largo del proceso de diseño, en función de los resultados de los estudios de prefactibilidad, las necesidades específicas de cada estación y los cambios en las condiciones y normativas locales.

#### 6.3.7.10 Cálculo de las instalaciones Hidrosanitarias en una estación

Para realizar los cálculos de carga y dimensionamiento de sistemas hidrosanitarios en una estación subterránea del Corredor Férreo del Sur, primero, debemos considerar la demanda de agua y los flujos de desagüe, y luego diseñar el sistema de suministro de agua y drenaje acorde a los requerimientos.

- Estimar el número de ocupantes:
  - En base a la información mencionada anteriormente, asumiremos un promedio de 1000 ocupantes en la estación durante las horas pico.
- Estimar la demanda de agua:
  - La demanda de agua en una estación de tren subterránea proviene principalmente de sanitarios, lavamanos y fuentes de agua potable. Para simplificar, asumiremos que hay 10 sanitarios, 10 lavamanos y 5 fuentes de agua potable en la estación. Tomaremos en cuenta los siguientes consumos:
    - Sanitario: 6 L/descarga
    - Lavamanos: 0.2 L/s
    - Fuente de agua potable: 0.075 L/s

### **Cálculo de la demanda máxima de agua:**

La demanda máxima de agua se estima utilizando el método de unidades de carga de Hunter, que considera el uso simultáneo de los dispositivos en función del número total de dispositivos. Asumiremos una unidad de carga de 8 para sanitarios, 2 para lavamanos y 1 para fuentes de agua potable. La fórmula de Hunter es:

- Demanda máxima (gpm) = (Número de dispositivos x Unidades de carga)<sup>(1/2)</sup>
- Demanda máxima de agua = ((10 x 8) + (10 x 2) + (5 x 1))<sup>(1/2)</sup> = (80 + 20 + 5)<sup>(1/2)</sup> = 105<sup>(1/2)</sup> ≈ 10.25 gpm (galones por minuto)

### **6.3.7.11 Sistema de suministro de agua:**

El sistema de suministro de agua debe diseñarse para proporcionar un flujo de agua adecuado y mantener una presión suficiente en cada dispositivo. Para esto, se deben considerar factores como el tamaño y tipo de tuberías, la presión del sistema y la existencia de bombas de agua y sistemas de almacenamiento. Para ello se deben tener detalles específicos del sistema de suministro de agua, por lo que es necesario realizar un análisis detallado y una evaluación del sitio para diseñar el sistema adecuado.

### **6.3.7.12 Demanda de desagüe:**

La demanda de desagüe se estima en función del flujo máximo de agua de los dispositivos conectados al sistema de drenaje. Asumiremos que la demanda de desagüe es igual a la demanda máxima de agua calculada anteriormente, que es de 10.25 gpm (galones por minuto).

ALCALDIA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

### **6.3.7.13 Sistema de drenaje:**

El sistema de drenaje debe diseñarse para evacuar eficazmente las aguas residuales y las aguas pluviales, evitando inundaciones y garantizando la higiene en la estación. El diseño debe considerar la pendiente, tamaño y tipo de tuberías, y la existencia de bombas y sistemas de almacenamiento. Al igual que con el suministro de agua, es necesario realizar un análisis detallado y una evaluación del sitio para diseñar el sistema de drenaje adecuado.

### **Cálculo del diámetro de las tuberías de drenaje:**

Para calcular el diámetro de las tuberías de drenaje, se puede utilizar la fórmula de Manning:

$$Q = (1/n) * A * R^{(2/3)} * S^{(1/2)}$$

Donde:

Q = flujo de agua (m<sup>3</sup>/s)

$n$  = coeficiente de rugosidad de Manning (sin unidad, aproximadamente 0.013 para tuberías de PVC)

$A$  = área de la sección transversal de la tubería ( $m^2$ )

$R$  = radio hidráulico (m)

$S$  = pendiente de la tubería (sin unidad)

Dado que la demanda máxima de desagüe se calculó en galones por minuto (gpm), primero, debemos convertir el valor a  $m^3/s$ :

Demanda máxima de desagüe =  $10.25 \text{ gpm} * (3.78541 \text{ L/gal}) * (1/60 \text{ min/s}) * (0.001 \text{ m}^3/\text{L}) \approx 0.00065 \text{ m}^3/\text{s}$

Ahora, usando la fórmula de Manning, podemos estimar el diámetro de las tuberías de drenaje. Suponiendo una pendiente del 2% ( $S = 0.02$ ), podemos iterar el cálculo para diferentes diámetros de tubería hasta encontrar el tamaño adecuado que puede manejar el flujo máximo de desagüe.

Tras realizar los cálculos, se determina que un diámetro de tubería de aproximadamente 200 mm (8 pulgadas) es adecuado para manejar el flujo máximo de desagüe de 10.25 gpm ( $0.00065 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

#### 6.3.7.14 Sistema de almacenamiento de agua y bombas:

Además del diseño del sistema de suministro de agua y drenaje, también debemos considerar la necesidad de sistemas de almacenamiento de agua y bombas para mantener una presión adecuada y garantizar un suministro constante de agua. La capacidad del tanque de almacenamiento de agua y el tipo de bombas requeridas dependerán del análisis detallado del sistema y las necesidades específicas del proyecto.

Para realizar los cálculos de carga y dimensionamiento de los sistemas hidrosanitarios en una estación subterránea del Corredor Férreo del Sur, se deben considerar las demandas de agua y desagüe, y diseñar los sistemas de suministro de agua y drenaje acorde a estas demandas. También es esencial considerar las necesidades de almacenamiento de agua y las bombas requeridas para mantener la presión y el flujo adecuados. Un análisis detallado y un diseño específico del sistema serán necesarios para determinar con precisión las necesidades y dimensiones del sistema hidrosanitario.

## 7 PREDISEÑO DE INSTALACIONES FERROVIARIAS

En un sistema de explotación ferroviaria la organización del mantenimiento de la flota de trenes normalmente está organizada por niveles, esta organización debe estar previamente indicada en los manuales de mantenimiento que debe suministrar el fabricante, en la cual se expone que actividades / inspecciones / cambios / atenciones se debe aplicar en cada uno de los niveles en la cual se organicen las actividades de

mantenimiento a ejecutar por parte del personal de mantenimiento del operador del sistema.

Los Patios y Talleres son instalaciones esenciales para el Corredor Férreo del Sur, debido a que permitirán la ejecución de las actividades de mantenimiento, reparación y almacenamiento de los trenes. El prediseño de los Patios y Talleres del Corredor Férreo del Sur está basado en el número de trenes que se prevé utilizar y los servicios que se ofrecerán. En el componente de Operaciones Ferroviarias se indica que la cantidad de trenes necesarios para la explotación del Corredor Férreo de Sur será de 34 trenes.

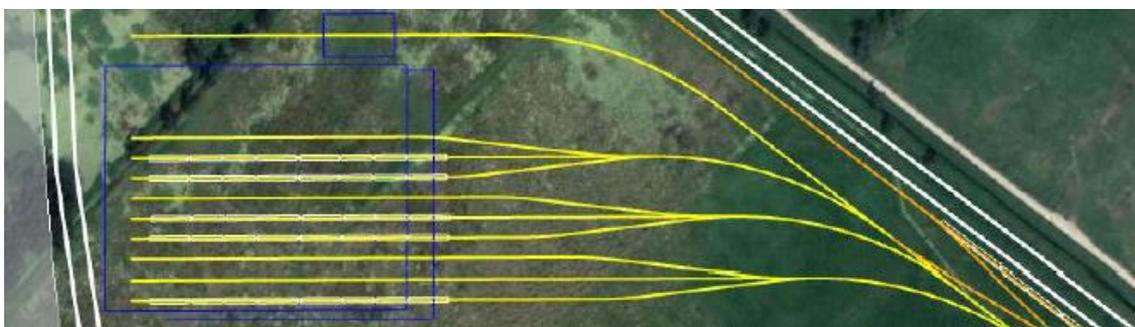
## 7.1 TALLERES DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE EQUIPOS

### 7.1.1 VÍAS DE MANTENIMIENTO MENOR

El diseño del edificio del Patio y Taller para el Corredor Férreo del Sur, debe contar con una serie de vías para que el personal técnico desarrolle las actividades de mantenimiento menor a la flota de trenes que harán parte del sistema. En estas vías se realizarán todas las pruebas, inspección y solución de problemas que no requieren el uso de herramientas / equipos especializados, verificación de los componentes / consumibles simples relevantes para la seguridad o sustitución de estos. Entre otras las actividades a realizar se mencionan:

- Pruebas de los componentes del equipamiento de control electromecánico y electroneumáticos de la flota.
- Inspecciones del sistema de radio.
- Lubricaciones necesarias.
- Reparaciones / Correctivos.
- Limpieza, verificación de luces.

La cantidad total de vías de mantenimiento, de acuerdo con lo especificado en el documento de Diseño Geométrico Férreo, son diez (10) vías. Como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 59 Vías de Mantenimiento de Trenes**

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Entonces las vías de mantenimiento menor serán dos (2) de ellas.

Cabe destacar que todas las vías de mantenimiento se encuentran resguardadas bajo techo del taller principal, a excepción de la vía que incluye la cabina de pintura, que resguardará solo un vagón bajo techo.

La longitud de la vía de mantenimiento menor es de 150 m para dar cabida a una unidad de tren completa, requiriéndose un foso de inspección para esta vía.

### 7.1.2 VÍAS DE MANTENIMIENTO MAYOR

El diseño del edificio del Patio y Taller para el Corredor Férreo del Sur, debe contar con una serie de vías para que el personal técnico desarrolle las actividades de mantenimiento mayor a la flota de trenes que harán parte del sistema. En estas vías se realizarán actividades en las cuales estén involucrados equipamientos especiales (requiere el empleo de grúas de taller o columnas elevadoras para cambiar componentes principales), procesos complejos y el personal técnico que desarrolle las actividades en estas vías debe estar calificado para ejecutar las labores. Entre las actividades a realizar específicamente se pueden mencionar:

- Sistema de puertas
- Revisiones y pruebas de los componentes del equipo de control neumático y electroneumático.
- Actualización y reequipamiento de los componentes de los frenos y del equipo interior.
- Bogies
- Motores y componentes del sistema de accionamiento.
- Sistema de frenos.
- Sistemas hidráulicos, electrónicos, neumáticos.
- Sistema de alimentación.

Se prevén tres (3) vías de mantenimiento mayor, equipadas con foso de inspección, sistema de iluminación en el foso y sistemas de aire comprimido.

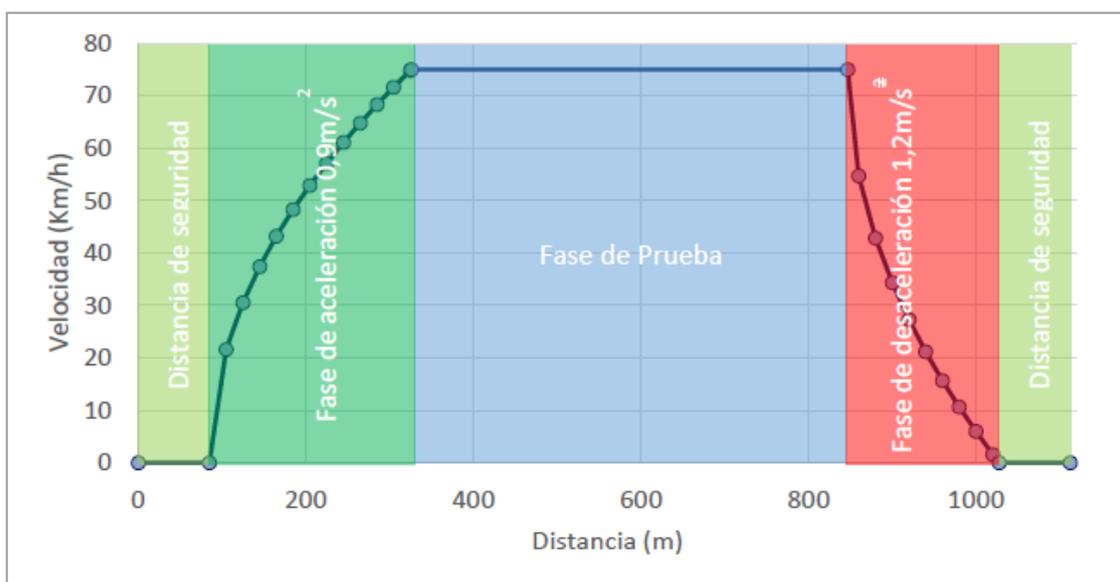
### 7.1.3 VÍA DE PRUEBAS

La vía de pruebas es una vía que se debe diseñar dentro de las instalaciones de Patio y Taller del Corredor Férreo del Sur, siendo su función principal realizar pruebas dinámicas a la flota de trenes del sistema. Adicionalmente, esta puede ser usada para entrenamiento del personal de operaciones, entre las actividades a realizar en dicha vía se pueden mencionar las siguientes pruebas funcionales de:

- puertas,
- equipamiento de automatización a bordo,
- tracción y frenado,
- trenes, luego de alguna intervención menor / mayor realizada sobre la unidad,

- sistema de señalización con el tren (circuitos de vías, accionamiento, señales, etc.), es importante que dicha vía este equipada con el equipamiento similar que estará en funcionamiento en la vía principal del sistema.

La vía de pruebas esta prediseñada con una longitud 1112,51m, la cual permite probar trenes a una velocidad máxima de 75 km/h durante 25 segundos, así como lo muestra la siguiente grafica de velocidad.



*Figura 60 Grafica de velocidad de la vía de pruebas*

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

**Fase de aceleración:**

- Distancia =  $((20,83\text{m/s})^2 - (0\text{m/s})^2) / (2 \times 0,9\text{m/s}^2)$
- Distancia 241,13m

**Fase de prueba con velocidad máxima:**

- Distancia =  $20,83\text{m/s} \times 24\text{s}$
- Distancia = 520,83 m

**Fase de frenado:**

- Distancia =  $((0\text{m/s})^2 - (20,83\text{m/s})^2) / (2 \times -1,2\text{m/s}^2)$
- Distancia 180,84m

**Distancia total con 18% de incremento:**

- $(241,13 \text{ m} + 520,83 \text{ m} + 180,84 \text{ m}) \times (100 \% + 18 \%) = 1112,51 \text{ m}$

**7.1.4 VÍA DE LAVADO INTENSIVO**

Esta vía debe ser diseñada en los patios y talleres del Corredor Férreo del Sur, el fin de esta es destinado a realizar las labores de limpieza exterior de los trenes. Para ello, debe estar equipada con máquinas de lavado, servicio de agua, contar con un sistema de recolección de agua siendo estas tratadas antes de ser enviadas a la red de aguas residuales.

La vía debe estar automatizada para el ingreso y salida de los trenes en la zona de lavado, así como se debe diseñar un sistema de alimentación para el tren seguro y acorde a la necesidad para evitar los riesgos de electrocución de los operadores.

En general se recomienda que la longitud la máquina de lavado sea de al menos 30 metros para permitir la limpieza completa de un vagón a la vez. El tren deberá ir avanzando y atravesar toda la máquina de lavado, por lo tanto, se debe tener previsto un espacio mayor a 150 metros posterior a la máquina de lavado.

En cuanto al espacio necesario para el alojamiento de los equipos de la máquina de lavado, es importante tener en cuenta el galibo horizontal del tren, que es de 2.9 metros, y el espacio adicional requerido para el alojamiento de rodillos sistema de rociadores de agua, jabón y químicos necesarios y otros elementos, debe ser de 2 metros hacia cada lado del galibo del tren. Por lo tanto, el espacio total necesario para el alojamiento de los equipos de la máquina de lavado debe ser de 6.9 metros de ancho (2.9 m + 2 m de cada lado). En cuanto a la altura, en la parte baja la vía debe estar a nivel del suelo para permitir el acceso fácil y seguro al personal encargado del mantenimiento de los equipos y elementos que componen la máquina de lavado y el mantenimiento complementario del tren, que en ocasiones debe realizarse manualmente.

Una máquina de lavado de trenes generalmente incluye los siguientes componentes y características básicas:

**Estructura de soporte:** Una estructura metálica robusta y resistente a la corrosión que sostiene todos los componentes y equipos de lavado. Esta estructura debe estar diseñada para soportar las cargas generadas por el proceso de lavado y las condiciones ambientales.

**Sistema de cepillos:** Un conjunto de cepillos rotativos, tanto verticales como horizontales, diseñados para limpiar las superficies exteriores de los trenes. Estos cepillos deben ser de material resistente al desgaste y adecuado para eliminar suciedad y residuos sin dañar la pintura ni las superficies de los trenes.

**Sistema de rociadores de agua:** Un conjunto de boquillas y tuberías que suministran agua a presión a los cepillos y a las superficies del tren para ayudar en la eliminación de la suciedad. Este sistema puede incluir bombas, válvulas y sensores para controlar la presión y el flujo de agua.

**Sistema de suministro de detergentes y productos químicos:** Un sistema que mezcla y suministra detergentes y productos químicos necesarios para la limpieza del tren. Puede incluir tanques de almacenamiento, bombas dosificadoras y sistemas de control para regular la concentración y el flujo de la solución de limpieza.

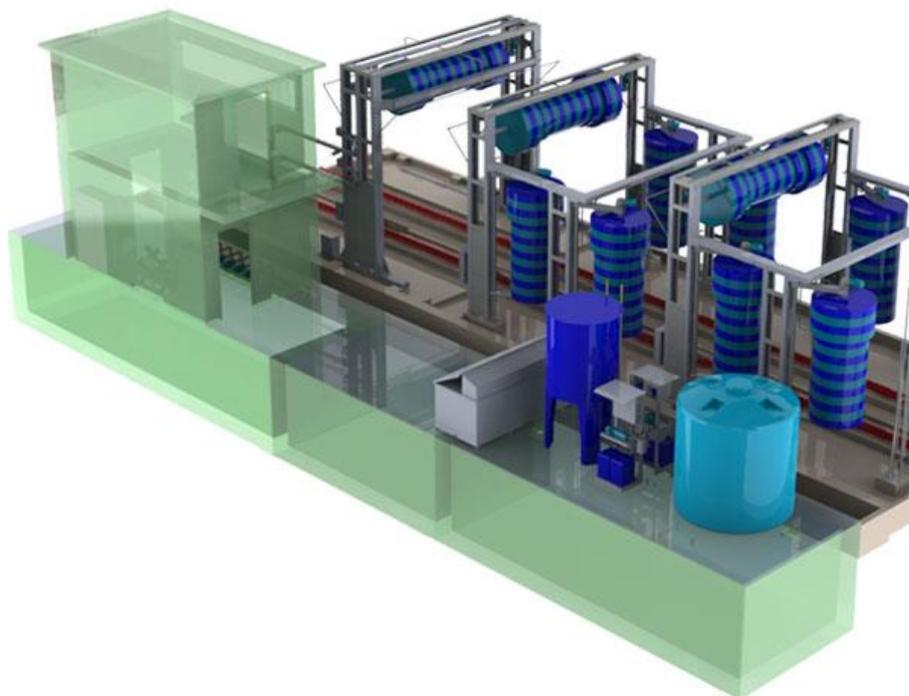
**Sistema de recolección y tratamiento de agua:** Un conjunto de canaletas, filtros y sistemas de tratamiento de agua que recogen el agua usada en el proceso de lavado, la tratan y la reciclan para su reutilización o la descargan de manera responsable en la red de aguas residuales.

**Sistema de secado:** Equipos como sopladores de aire y/o elementos calefactores que eliminan el exceso de agua de las superficies del tren después del lavado, ayudando a prevenir manchas y marcas de agua.

**Sistema de control y automatización:** Un sistema electrónico que controla y coordina todos los componentes de la máquina de lavado, incluyendo la detección de la posición y las dimensiones del tren, el ajuste de los cepillos y rociadores, y la operación de los sistemas de suministro de agua y productos químicos.

**Seguridad y acceso:** Elementos de seguridad, como barreras, señalización y sistemas de parada de emergencia, que garantizan la protección del personal y de los trenes durante el proceso de lavado. Además, debe haber accesos adecuados para el mantenimiento y la inspección de la máquina de lavado.

Se debe planificar un espacio adicional dedicado al cuarto de control para la línea de lavado de trenes, de aproximadamente 20 a 30 metros cuadrados. Este cuarto albergará componentes críticos como las bombas, tanques de almacenamiento y sistemas de control eléctrico e hidráulico. Este espacio permitirá un fácil acceso y mantenimiento de los equipos, garantizando un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de lavado. Además, el cuarto de control debe estar diseñado de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables, asegurando una adecuada ventilación, iluminación y protección contra incendios y otros riesgos potenciales.



**Figura 61 Máquina de lavado de Trenes**

Fuente: Web

### 7.1.5 VÍA DE SOPLADO

La vía de soplado del Patio Taller del Corredor Férreo del Sur debe ser un espacio diseñado específicamente para llevar a cabo el mantenimiento y limpieza de los componentes de los trenes mediante aire comprimido. Esta vía es utilizada para limpiar los componentes de los trenes que pueden acumular polvo, arena u otros materiales en su superficie, y que no se pueden limpiar con otros métodos convencionales.

La vía de soplado consiste en una serie de tuberías y mangueras conectadas a un compresor de aire que suministra aire comprimido a alta presión. El aire comprimido se utiliza para soplar el polvo y otros materiales de los componentes de los trenes, incluyendo los frenos, las ruedas y las partes de los motores.

La vía de soplado es una herramienta importante en el mantenimiento y reparación de los trenes, ya que permite una limpieza eficiente y rápida de componentes que de otra manera podrían requerir mucho tiempo y esfuerzo para limpiarlos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso incorrecto de la vía de soplado puede causar daños a los componentes de los trenes, por lo que es esencial que solo personal capacitado y autorizado utilice esta herramienta.

### 7.1.6 VÍA DE PINTURA

Esta vía deberá ser diseñada para albergar mínimamente una (1) unidad o máximo dos (2) unidades al mismo tiempo, dicha cabina de pintura debe estar ubicada en una de las vías de mantenimiento del área de reparaciones mayores. El ingreso y retiro de las unidades en la zona de pintura, debe usarse un vehículo remolcador, esta zona no tendrá sistema de alimentación. Dicha cabina deberá equiparse con sistemas de ventilación y extracción de vapores. Adicionalmente, en el interior de la cabina se debe diseñar un espacio con bancos de trabajos y armarios especiales de almacenamiento de productos necesarios para la ejecución de los trabajos en el área.

Se debe prever un área de secado posterior a la cabina de pintura.

### 7.1.7 VÍA DE REPERFILADO DE RUEDAS Y TORNO DE FOSO

El prediseño de la vía de reperfilado de ruedas y torno de foso debe considerar varios factores para garantizar una operación eficiente y segura. A continuación, se describen los elementos clave y características básicas que deben ser considerados para esta:

**Ubicación:** La vía de reperfilado de ruedas y el torno de foso deben estar ubicados en una sección específica del taller de reparaciones mayores, preferiblemente cerca de las áreas de inspección y mantenimiento de los trenes. Esto facilitará el flujo de trabajo y el acceso rápido a las instalaciones de mantenimiento y reparación.

**Longitud de la vía:** La longitud de la vía debe ser suficiente para acomodar la longitud de los trenes que serán sometidos a trabajos de reperfilado de ruedas, recordando que la longitud de un tren completo es de 150 metros. Debe haber espacio adicional de 20 metros en el extremo de la vía para facilitar el acceso y maniobra de los trenes.

**Torno de foso:** El torno de foso es el equipo principal en esta área y debe ser seleccionado teniendo en cuenta la capacidad de carga, la velocidad de mecanizado, la precisión y la facilidad de operación. El torno debe estar montado en una plataforma robusta y nivelada, y debe tener un sistema de control adecuado para garantizar la calidad del reperfilado y la seguridad del operador.

**Espacio para el operador y área de trabajo:** El área alrededor del torno de foso debe contar con espacio suficiente para que el operador trabaje de manera cómoda y segura. Esto incluye bancos de trabajo, armarios para almacenar herramientas y equipos, y un área de circulación libre de obstáculos.

**Iluminación y ventilación:** La zona de reperfilado de ruedas y torno de foso debe contar con iluminación adecuada para garantizar la visibilidad durante las operaciones y la seguridad del personal. También es importante proporcionar una buena ventilación para mantener un ambiente de trabajo saludable, especialmente si se generan polvo, humo y partículas durante el proceso de reperfilado.

**Sistema de extracción de virutas y residuos:** Para mantener un entorno de trabajo limpio y seguro, se debe instalar un sistema de extracción de virutas y residuos que recoja y elimine automáticamente los desechos generados durante el proceso de reperfilado de ruedas.

**Seguridad y protección:** La vía de reperfilado de ruedas y el torno de foso deben contar con medidas de seguridad adecuadas, como barandillas, señalización, dispositivos de bloqueo y sistemas de parada de emergencia, para garantizar la seguridad del personal y prevenir accidentes.



*Figura 62 Vía de reperfilado de ruedas y torno de foso*

MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano  
Fuente: Web

### 7.1.8 VÍA DE VIRAJE DE SENTIDO DE MARCHAS DE LOS TRENES

La vía de viraje de sentido de marcha de los trenes es una estructura de vía ferroviaria que permite a los trenes cambiar de dirección en una estación o en el Patio Taller. Para el Corredor Férreo de Sur se plantea que la vía de viraje se encuentre en el Patio Taller. Esta vía también se conoce como vía giratoria o plataforma giratoria, y es una estructura circular que puede girar 360 grados. Para el Corredor Férreo del Sur se propone una plataforma giratoria que permita el cambio de sentido de circulación de solo un vagón del tren, es decir, la plataforma debe tener un diámetro máximo que permita la cabida de un vagón de 23 metros aproximadamente.

La vía de viraje de sentido de marcha permite cambiar de dirección de manera segura y eficiente. El vagón entra en la vía de viraje y se detiene en el centro de la estructura. La plataforma gira lentamente, colocando el vagón en la dirección correcta para continuar su circulación en la dirección opuesta.

### 7.1.9 TORNAMESAS PARA BOGIES

Las tornamesas para bogies son dispositivos mecánicos utilizados en los sistemas de transporte ferroviario para permitir que los bogies de los vagones puedan cambiar fácilmente de dirección en las vías del Patio Taller, haciendo más fácil su traslado para las diferentes áreas o vías del taller.

Un bogie es un conjunto de ruedas y ejes que se utiliza en los trenes para soportar y guiar el peso del vagón. En los Patios y Talleres donde se requieren cambios de dirección, es necesario el uso de estas plataformas.

Estas tornamesas tienen una plataforma giratoria circular sobre la cual se coloca el bogie y puede girarse a 360° según las necesidades. La plataforma giratoria se puede girar manualmente o mediante un mecanismo motorizado, lo que permite que el bogie gire y cambie de dirección para seguir la nueva dirección de la vía. Para el Corredor Férreo del Sur se plantean Tornamesas para Bogies de giro manual.

#### 7.1.10 MAQUINA LAVADORA DE TRENES CON SISTEMA RECUPERACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA

En el área destinada para los diseños del Patio Taller se debe designar un espacio para incluir entre los edificios un espacio que albergue la planta de tratamiento de agua, su ubicación debe estar cerca de la zona de lavado y del área de almacenamiento de residuos. Dicho sistema deberá estar provisto con un sistema de reciclado, tratamiento y drenaje de aguas de todo el patio y taller.

En lo referente a la máquina lavadora, esta será instalada en la vía prevista para el lavado de trenes, ya mencionado en el apartado 7.1.4.

#### 7.1.11 TORNO PARA MECANIZADO DE RUEDAS

Este equipo será utilizado para el reperfilado y mecanizado de ruedas, garantizando un desgaste uniforme y adecuado de las mismas, así como para eliminar deformaciones o imperfecciones que puedan afectar la seguridad y el confort de la operación de los trenes.

**Capacidad de mecanizado:** puede variar dependiendo del modelo, pero por lo general se diseñan para trabajar con ruedas de hasta 1,5 metros de diámetro.

**Control numérico:** la mayoría de los tornos modernos cuentan con sistemas de control numérico computarizado (CNC), lo que permite un mayor grado de precisión y repetibilidad en el mecanizado.

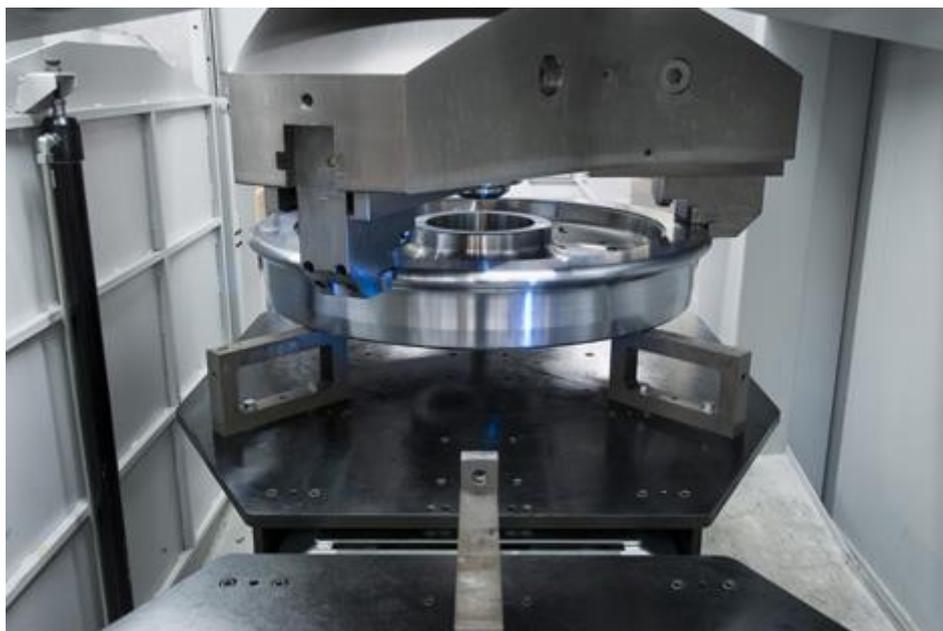
**Cabezal móvil:** el cabezal móvil se utiliza para sujetar y girar la rueda a mecanizar.

**Platos de sujeción:** se utilizan para sujetar la rueda durante el proceso de mecanizado.

**Herramientas de corte:** se utilizan para el mecanizado y rectificado de la rueda. Pueden ser fijas o móviles, y pueden ser intercambiables para trabajar con diferentes materiales y perfiles de rueda.

**Sistema de refrigeración:** se utiliza para mantener la temperatura adecuada durante el proceso de mecanizado, evitando así la deformación de la rueda.

**Sistema de extracción de virutas:** se utiliza para extraer las virutas y el polvo generado durante el proceso de mecanizado, lo que ayuda a mantener un ambiente de trabajo limpio y seguro.



**Figura 63 Torno para mecanizado de ruedas de tren**

Fuente: Web

### 7.1.12 TORNO PARA EJES MONTADOS

El torno para ejes montados es una herramienta utilizada en la industria ferroviaria para el mantenimiento y reparación de los ejes de los trenes.

Esta herramienta se utiliza para mecanizar los ejes mientras están montados en el tren, lo que evita tener que desmontar los ejes del tren para realizar las operaciones de mecanizado. Esto reduce el tiempo y el costo de la reparación y mantenimiento de los ejes.

El torno para ejes montados suele tener una estructura robusta y resistente que le permite soportar los ejes de gran tamaño y peso que se utilizan en los trenes. Además, está equipado con una serie de herramientas y accesorios para realizar diferentes operaciones de mecanizado, como torneado, fresado, taladrado, entre otras.

Este tipo de torno también cuenta con un sistema de sujeción para fijar el eje en su lugar durante el mecanizado y para garantizar que el eje se mantenga en su posición correcta mientras se realiza el trabajo de mecanizado. Algunos tornos para ejes montados pueden ser controlados a distancia, lo que permite al operador trabajar de manera segura y cómoda mientras controla el torno desde una posición segura.

En resumen, el torno para ejes montados es una herramienta esencial en la industria ferroviaria para el mantenimiento y reparación de los ejes de los trenes, lo que garantiza un buen rendimiento y seguridad en las operaciones ferroviarias. Además, al permitir el mecanizado de los ejes sin tener que desmontarlos del tren, se reduce el tiempo y el costo de la reparación y mantenimiento de los ejes.

### 7.1.13 CABINA DE LAVADO DE BOGIES

Dentro del taller de reparaciones mayores, deberá diseñarse un espacio para los bogies de la flota de trenes, esta área deberá estar ser diseñada y equipada para llevar a cabo las siguientes actividades:

- Máquina de lavado de bogies, con su diseño para drenajes.
- Mesa gira-bogies.
- Mesa elevadora.

Dicha área deberá contar con tomas de agua para limpieza de alta presión y de aire comprimido y su ubicación debe ser cerca de las vías de revisión.

**Dimensiones:** Las dimensiones de la cabina deben ser suficientes para permitir el ingreso del bogie y garantizar una manipulación segura durante el proceso de lavado y mantenimiento.

**Sistema de lavado:** Las cabinas de lavado de bogies deben estar equipadas con sistemas de lavado de alta presión y temperatura, con almacenamiento de químicos capaces de remover la suciedad, grasas y los residuos acumulados en el bogie.

**Sistema de recolección de agua:** Es importante que la cabina cuente con un sistema de recolección y tratamiento de agua, para evitar la contaminación ambiental y cumplir con las normativas locales en materia de aguas residuales.

**Sistema de iluminación:** La iluminación en la cabina debe ser suficiente para permitir una inspección visual detallada del bogie durante el proceso de mantenimiento y limpieza.

**Voltaje:** El voltaje necesario para el funcionamiento de la cabina debe ser 220Vac o 480Vac.



**Figura 64** *Cabina de lavado de Bogíes*

Fuente: Web

#### **7.1.14 CABINA DE SOPLADO**

Es una estructura diseñada para realizar la limpieza y el mantenimiento de las piezas y componentes de los trenes.

Esta cabina utiliza aire comprimido para limpiar y eliminar el polvo, la suciedad y otros materiales no deseados de las piezas de los trenes, como motores, bogíes, ruedas, acoplamientos, frenos, entre otros.

La cabina de soplado está diseñada para ser un ambiente cerrado, de manera que el aire comprimido utilizado para soplar no afecte el medio ambiente ni la salud de los trabajadores. Además, cuenta con una serie de filtros y dispositivos de seguridad para proteger a los trabajadores de los riesgos asociados con la limpieza a presión.

Para su uso correcto, las piezas a limpiar se colocan en una plataforma giratoria, que permite que se puedan limpiar todas las superficies de esta. A continuación, se activa el aire comprimido a través de una manguera y una pistola de soplado, que se utiliza para limpiar la pieza de manera efectiva.

En resumen, la cabina de soplado es una herramienta esencial en los talleres ferroviarios para el mantenimiento y la limpieza de las piezas y componentes de los trenes, lo que garantiza un buen rendimiento y seguridad en las operaciones ferroviarias.

#### **7.1.15 TALLERES PARA MANTENIMIENTO DE EQUIPOS: MOTORES, COMPONENTES NEUMÁTICOS, PANTÓGRAFOS**

Los talleres para mantenimiento de equipos, como motores, componentes neumáticos y pantógrafos, son instalaciones especializadas en la industria ferroviaria que se encargan del mantenimiento y reparación de los equipos y componentes utilizados en los trenes.

En estos talleres se realizan trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar que los equipos y componentes de los trenes funcionen de manera segura y eficiente. Algunos de los trabajos que se realizan en estos talleres incluyen:

**Mantenimiento de motores:** se realizan tareas de revisión, limpieza y reparación de los motores que se utilizan en los trenes. Esto incluye la sustitución de piezas desgastadas, el ajuste de la lubricación y la realización de pruebas para comprobar el rendimiento del motor.

**Mantenimiento de componentes neumáticos:** se realizan tareas de revisión, limpieza y reparación de los componentes que requieren de aire comprimido y que se utilizan en los frenos, las puertas y otros sistemas del tren. Esto incluye la sustitución de piezas desgastadas, la limpieza de los sistemas de aire y la realización de pruebas para comprobar el rendimiento de los componentes.

**Mantenimiento de pantógrafos:** se realizan tareas de revisión, limpieza y reparación de los pantógrafos, que son los dispositivos que se utilizan para tomar la energía eléctrica de la catenaria. Esto incluye la sustitución de piezas desgastadas, el ajuste de la altura del pantógrafo y la realización de pruebas para comprobar el rendimiento del dispositivo.

En estos talleres, se utilizan herramientas y equipos especializados, como tornos, fresadoras, equipos de soldadura, equipos de diagnóstico y herramientas de medición. Además, los técnicos que trabajan en estos talleres deben estar capacitados para ocuparse de estos equipos y deben tener un conocimiento profundo de los sistemas y componentes de los trenes.

### **7.1.16 PUENTE GRÚAS**

Ver apartado 6.2.9.1.

Este equipamiento debe ser instalado en varias zonas de los talleres, por tal motivo deben considerarse las zonas citadas a continuación:

- Taller de reparaciones menores.
- Taller de reparaciones mayores.
- Área de torno foso
- Taller electromecánico.
- Área de sección de bogíes.
- Almacenes
- Sección de motores.
- Área de carga / descarga.
- Vías de mantenimiento de infraestructuras.

### 7.1.17 COMPRESOR DE AIRE

Ver apartado 6.2.9.2

Las diferentes zonas de los talleres que harán parte del edificio de patio y talleres del Corredor Férreo del Sur, deberán estar equipados con tomas de aire comprimido para la operación de herramientas y equipos neumáticos que será usados para el mantenimiento de los trenes. Por tal motivo dentro de las instalaciones se debe prever un espacio donde este todo el equipamiento asociado, que desde ese punto permita hacer una red de distribución por las diferentes zonas de los talleres. El sistema mínimamente debe contar con:

- Sistema de tratamiento de aire
- Sistema deshidratador
- Sistema de secador de aire
- Tanque de reserva provisto de un dispositivo automático de purga de electroválvulas.

La capacidad de los compresores deberá corresponder a las necesidades de cada área, para esto el proveedor del sistema debe presentar un estudio estableciendo las consideraciones y la información de los requerimientos de consumo de Aire Comprimido y desarrollará el procedimiento de cálculo para el dimensionamiento y selección de equipos.

### 7.1.18 COLUMNAS DE LEVANTE DE TRENES (FIJAS Y MÓVILES)

Ver apartado 6.2.9.3

Como equipamiento de importancia en el edificio de patios y talleres del Corredor Férreo del Sur, se encuentran las denominadas columnas de levante de trenes que estas pueden ser instaladas según la necesidad, en posiciones fijas o móviles, a lo largo de la vía de los talleres de reparaciones menores y mayores. Este equipamiento permite realizar una elevación uniforme de las unidades de los trenes para que el personal calificado realice sus labores de inspección y mantenimiento en la parte baja de los trenes. Existen en el mercado diferentes modelos, por lo que será el contratista seleccionado para el equipamiento del patio y taller el que debe proveer al cliente las diferentes variables, ventajas y desventajas para cada tipo de columna de levante disponible en el mercado.

### 7.1.19 COLUMNAS DE LEVANTE PARA CAMBIO DE MOTORES DE TRACCIÓN

Las columnas de levante son una herramienta utilizada en los talleres ferroviarios para el cambio de motores de tracción en los trenes. Estas columnas se utilizan para soportar el peso del motor mientras se realiza el trabajo de mantenimiento o reemplazo de los motores.

Las columnas de levante de motores están diseñadas para ser robustas y resistentes, de manera que puedan soportar el peso del motor de tracción sin peligro de que se caiga o se dañe. Generalmente, estas columnas están fabricadas en acero y cuentan con sistemas hidráulicos para levantar y bajar el motor de manera segura y controlada.

El proceso de uso de las columnas de levante de motores comienza con la ubicación del tren sobre las columnas de levante de trenes. Las columnas de levante de motor se ajustan para adaptarse a la altura de ubicación del motor, y se aseguran en su lugar para evitar movimientos no deseados. A continuación, se activa el sistema hidráulico para soportar el motor y sostenerlo en el aire mientras se realiza el trabajo de mantenimiento o reemplazo de los motores.

Las columnas de levante de motores son esenciales en los talleres ferroviarios para el mantenimiento y reparación de los motores de tracción en los trenes. Estas herramientas permiten que los técnicos puedan acceder a los motores con facilidad y seguridad, lo que garantiza un buen rendimiento y seguridad en las operaciones ferroviarias.

Capacidad de carga: Deben tener una capacidad de carga que varía desde 2 toneladas hasta más de 3,5 toneladas.

Potencia del motor: La potencia del motor puede variar desde 2 kW hasta 5 kW aproximadamente.

Voltaje: El voltaje de operación debe ser 220 V o 480 V. Tensiones que deben encontrarse en las tomas industriales del taller.

Altura de elevación: La altura de elevación también puede variar, pero típicamente está en el rango de 2,5 a 4 metros.

Control: Las columnas de levante de motores deben tener un control eléctrico cableado para su manipulación a distancia, con el propósito de que no se convierta en un riesgo la manipulación de la carga, estos botones deben incluir el control de elevación y movimiento lateral de posicionamiento bajo la carga a manipular.



**Figura 65 Columna de levante de motores**

Fuente: Web

### 7.1.20 EQUIPO PARA PRUEBAS DE MOTORES DE TRACCIÓN

Ver apartado 6.2.9.5

El equipo para pruebas de motores de tracción es una herramienta especializada que se utiliza en los talleres ferroviarios para diagnosticar y probar los motores de tracción de los trenes. Este equipo es esencial para garantizar que los motores estén funcionando de manera segura y eficiente antes de ser reinstalados en los trenes.

El equipo para pruebas de motores de tracción está diseñado para simular las condiciones de operación de los motores de tracción en el tren. Esto permite que los técnicos puedan evaluar la potencia, el torque, la velocidad y otros parámetros de rendimiento del motor bajo cargas y condiciones de operación específicas.

El equipo para pruebas de motores de tracción se compone generalmente de una serie de instrumentos y equipos especializados, como bancos de prueba de motores, cargadores de baterías, medidores de voltaje, amperímetros, osciloscopios y herramientas de diagnóstico. Estos instrumentos y equipos permiten que los técnicos

puedan evaluar con precisión el rendimiento del motor y detectar cualquier problema o defecto.

El proceso de prueba de motores de tracción comienza con la extracción del motor del tren y su instalación en el banco de pruebas. A continuación, se conectan los cables y los dispositivos necesarios para la prueba, y se simulan las condiciones de operación del motor. Los técnicos pueden monitorear los resultados de la prueba en tiempo real y realizar ajustes según sea necesario.

En resumen, el equipo para pruebas de motores de tracción es una herramienta esencial en los talleres ferroviarios para garantizar un buen rendimiento y seguridad en las operaciones ferroviarias. Este equipo permite que los técnicos puedan evaluar con precisión el rendimiento de los motores de tracción y detectar cualquier problema o defecto antes de que se vuelvan críticos.

### 7.1.21 MESA PARA PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS ESTÁTICAS DE BOGIES

La mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies es una herramienta utilizada en los talleres ferroviarios para realizar ajustes y pruebas en los bogies de los trenes. Los bogies son los sistemas de ruedas y ejes que se encuentran debajo de los vagones del tren y que permiten el movimiento y la estabilidad del tren.

La mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies está diseñada para permitir que los técnicos realicen ajustes y pruebas en los bogies de manera segura y controlada. Esta herramienta es esencial para garantizar que los bogies estén en óptimas condiciones para su uso en el tren.

La mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies está compuesta por una plataforma plana y resistente, sobre la cual se ubican los bogies. La plataforma está equipada con una serie de dispositivos de medición, como medidores de ángulos y niveles, que permiten a los técnicos ajustar y medir la alineación y el nivel de los bogies.

Además, la mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies cuenta con un sistema de fijación que asegura los bogies en su lugar durante las pruebas y ajustes. Esto garantiza que los bogies no se muevan durante el proceso, lo que puede comprometer la precisión de las mediciones y ajustes.

El proceso de uso de la mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies comienza con la ubicación de los bogies sobre la plataforma y su fijación en su lugar. A continuación, se realizan las mediciones y ajustes necesarios en los bogies, utilizando los dispositivos de medición y las herramientas adecuadas.

En resumen, la mesa para puesta a punto y pruebas estáticas de bogies es una herramienta esencial en los talleres ferroviarios para garantizar que los bogies estén en óptimas condiciones para su uso en los trenes. Esta herramienta permite que los técnicos realicen ajustes y mediciones precisas en los bogies de manera segura y controlada, lo que garantiza un buen rendimiento y seguridad en las operaciones ferroviarias.

## 7.2 NODO DE TERMINACIÓN

El Nodo de Terminación del Corredor Férreo del Sur es un punto clave en el sistema de transporte, ya que es donde finaliza el recorrido del tren y tiene posibilidad de conexión con otros modos de transporte disponibles en la ciudad o sistemas de movilidad.

Teniendo en cuenta la definición proporcionada del Nodo de Terminación en los Capítulos Técnicos para la Ingeniería Ferroviaria “El Nodo de terminación es el sitio de terminación de la línea comercial, donde se construye un tramo posterior a la última estación que permite hacer las maniobras de retorno a los trenes” con esta definición clara se propone el siguiente prediseño:

**Tramo de retorno:** El Nodo de Terminación debe contar con un tramo de vía después de la última estación, lo suficientemente largo para permitir maniobras de retorno y cambio de dirección de los trenes. Este tramo puede incluir un desvío en forma de "Y" o "triángulo" que conecte las dos vías principales, de manera que los trenes puedan cambiar de dirección sin necesidad de maniobras complejas o reversibles. Pero para el caso de las estaciones terminales del Corredor Férreo del Sur, en el Nodo de Terminación, tanto para el inicio como para el final de la Línea, está establecido que se realice por delante de la estación, por limitaciones de espacio posterior de las estaciones terminales. En etapas posteriores del proyecto cuando se obtengan mayores datos de detalle del trazado se deberá estudiar la posibilidad de poder construir las zonas de retorno posterior de cada estación terminal. En esta etapa la propuesta se basa en los siguiente:

### 7.2.1 Estación 1, estación terminal (Santa Fé):

Implementación de una tercera vía paralela a los andenes de la estación, esta vía adicional permitirá a los trenes que lleguen a la estación uno (1) cambiar de dirección y volver hacia la estación dieciocho (18) sin interrumpir el flujo de trenes en las vías principales. La tercera vía deberá contar con cambios de agujas y dispositivos de señalización adecuados para asegurar una operación segura y eficiente.

Esta tercera vía se ubica en la estación número uno (1) Santa Fé, debe ser de una longitud de más de 150 metros, que permita el resguardo de una unidad de tren completo y de encuentre paralelo a los andenes de servicio. Puede utilizarse también como zona de solo desembarque o solo embarque, esto dependerá de la estrategia operativa.

**Zona de maniobra de retorno anterior a la estación:** Dado que no hay suficiente espacio al final de la estación uno (1), se puede establecer una zona de maniobra de retorno anterior a la estación con la implementación de un sistema de cambio de vías con cruzamiento de doble diagonal o Bretelle. Esta zona incluirá cambios de agujas y sistemas de señalización para permitir a los trenes cambiar de vía y realizar el retorno de manera segura.

Un cruzamiento de doble diagonal, también conocido como Bretelle, es una configuración de vías ferroviarias que permite a los trenes cambiar de una vía a otra en ambos sentidos, sin necesidad de invertir su dirección. Esta disposición es común en

sistemas ferroviarios urbanos, interurbanos y de carga, donde es necesario cambiar de vía de manera rápida, segura y eficiente.

El cruzamiento de doble diagonal se compone de dos desvíos y dos cambios de aguja en forma de "X" (cruzamientos), dispuestos de tal manera que las vías se entrecruzan entre sí en dos puntos. Esta configuración permite que un tren pase de una vía a otra en cualquier dirección, sin bloquear el paso de otros trenes en la vía contraria.

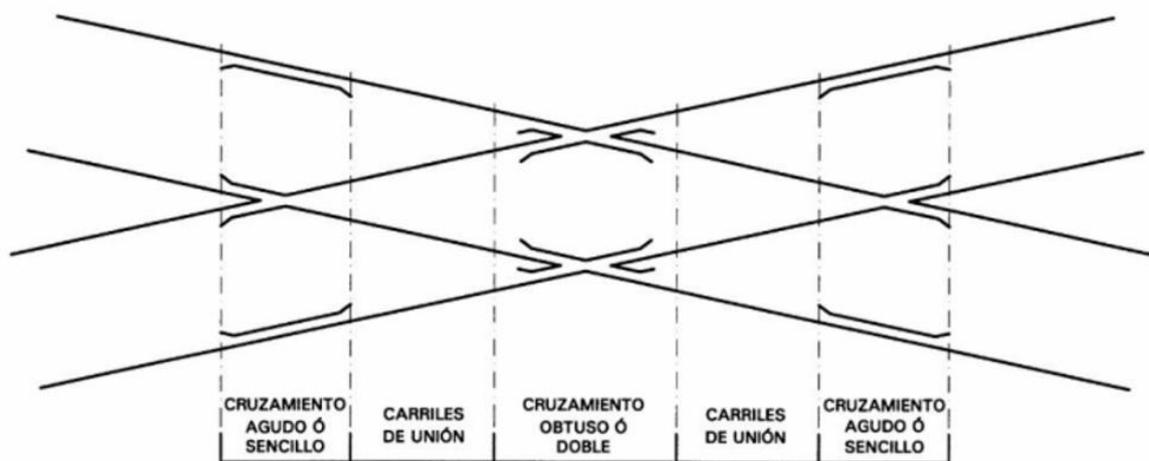
El Bretelle es especialmente útil en situaciones donde se requiere optimizar el uso de las vías, como en puntos de convergencia o divergencia de rutas, en estaciones de alto tráfico o en la entrada y salida de patios de maniobra. También se utiliza para mejorar la capacidad de los sistemas ferroviarios, permitiendo la circulación simultánea de trenes en múltiples direcciones y reduciendo los tiempos de espera.



**Figura 66 Cruzamiento Doble o Bretelle**

Fuente: Web

La disposición de las vías en un cruzamiento de doble diagonal, observándolo como un plano de planta, puede verse como la siguiente imagen.



**Figura 67 Cruzamiento de doble diagonal o Bretelle**

Fuente: Web

Es importante tener en cuenta que el diseño y la instalación de un cruce de doble diagonal requieren una cuidadosa planificación y coordinación, ya que implica la construcción de cambios de aguja y señalización compleja, así como sistemas de enclavamiento y control para garantizar una operación segura y eficiente.

### 7.2.2 Estación 18, estación terminal (Soacha Centro):

Zona de maniobra de retorno anterior a la estación: Al igual que en la estación uno (1), por razones de espacio en la estación dieciocho (18) se puede establecer una zona de maniobra de retorno anterior a la estación con la implantación de un cruce de doble diagonal o Bretelle. Esta zona incluirá cambios de agujas y sistemas de señalización para permitir a los trenes cambiar de vía y realizar el retorno de manera segura.

**Sistema de señalización y control:** El Nodo de Terminación debe contar con sistemas de señalización y control que permitan la coordinación y supervisión de las maniobras de retorno y estacionamiento de los trenes. Esto puede incluir señales, circuitos de vía, motores cambiavías, todo controlado desde los enclavamientos y supervisado y/o gobernado desde los sistemas de control centralizado.

**Seguridad y protección:** El Nodo de Terminación debe contar con sistemas de seguridad y protección, como cámaras de vigilancia, sistemas de acceso controlado y cercas perimetrales, para garantizar la seguridad del personal y los trenes.

En conclusión, el diseño del Nodo de Terminación del Corredor Férreo del Sur debe incluir un tramo de retorno, vías de estacionamiento y espera, una plataforma de maniobras, sistemas de señalización y control, estos elementos permitirán llevar a cabo las maniobras de retorno y cambio de dirección de los trenes de manera segura y eficiente.

### 7.2.3 Selección de la ubicación adecuada

Al elegir una ubicación adecuada para el cruzamiento doble diagonal en un sistema bitubo subterráneo, se deben considerar diversos factores para garantizar la viabilidad y la eficiencia del diseño. Estos factores incluyen:

**Topografía:** Se debe elegir una ubicación en la que la topografía sea favorable para la construcción de túneles y conexiones. Esto podría significar áreas con gradientes suaves y sin obstáculos geológicos importantes. La topografía también afectará la longitud y la profundidad de las conexiones, así como el ángulo de inclinación necesario en los túneles principales para permitir las conexiones entre ellos.

**Condiciones geotécnicas:** Las condiciones geológicas y geotécnicas del área de cruce influirán en la estabilidad y la seguridad de los túneles y las conexiones. Es crucial realizar estudios geotécnicos detallados para determinar la naturaleza del subsuelo, la presencia de acuíferos, la resistencia del suelo y las condiciones de roca. Estos factores afectarán la selección de las técnicas de construcción y los materiales, así como los costos y el tiempo requeridos para la construcción.

**Espacio disponible:** La ubicación seleccionada debe contar con suficiente espacio horizontal y vertical para permitir la construcción de las conexiones entre los túneles y la instalación de los sistemas de vías férreas, señalización y comunicaciones necesarios. Además, es importante considerar la ubicación de otros servicios subterráneos y estructuras cercanas que puedan verse afectados por la construcción del cruzamiento doble.

#### 7.2.4 Transición gradual en la inclinación de los túneles

Para crear espacio vertical suficiente para las conexiones entre los túneles en el área del cruzamiento doble, es necesario realizar una transición gradual en la inclinación de ambos túneles principales. Esta transición debe tener en cuenta:

**Velocidad de los trenes:** La pendiente y la curvatura de los túneles en la transición deben permitir que los trenes mantengan una velocidad adecuada al acercarse al área del cruzamiento doble.

**Comodidad de los pasajeros:** La transición en la inclinación debe ser gradual y suave para garantizar la comodidad de los pasajeros y evitar movimientos bruscos que puedan causar molestias o inseguridad.

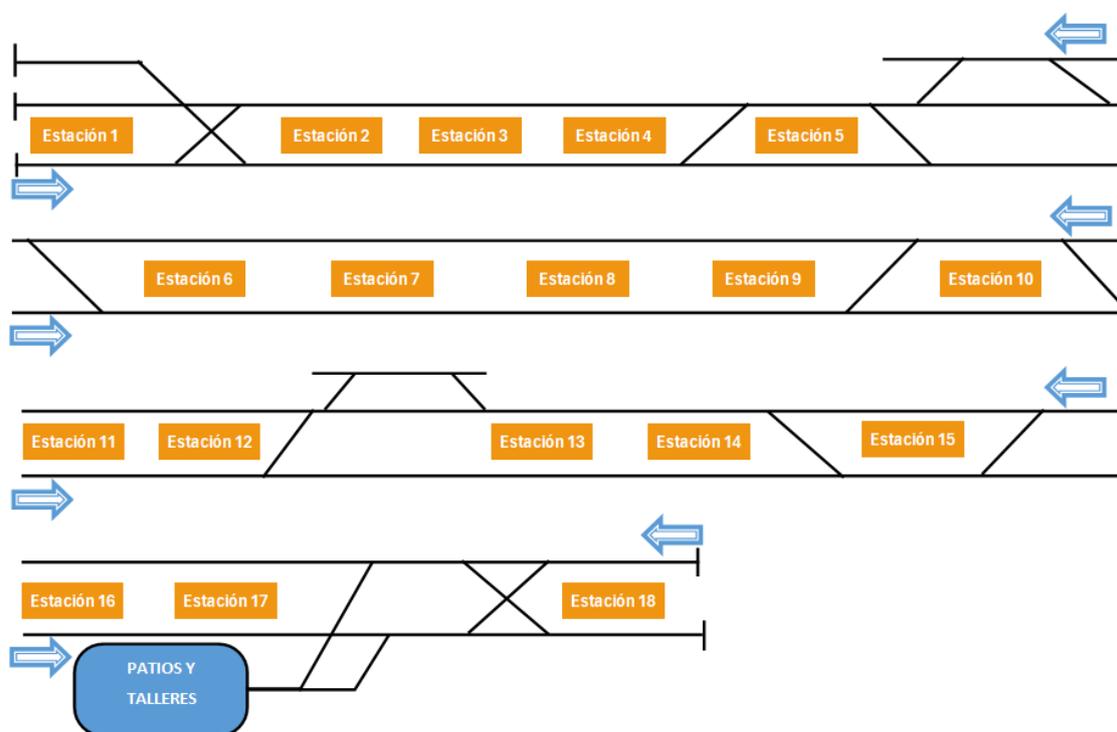
**Seguridad operacional:** La pendiente y la curvatura de los túneles en la transición deben cumplir con los estándares de seguridad y las normativas aplicables, garantizando la estabilidad de los trenes durante las maniobras de cruce.

**Factores geotécnicos:** La transición en la inclinación de los túneles debe tener en cuenta las condiciones geotécnicas del área, incluyendo la estabilidad del suelo y la roca, y minimizar el riesgo de asentamientos diferenciales u otros problemas estructurales.

Al considerar estos factores, se puede diseñar una transición adecuada en la inclinación de los túneles principales para permitir la construcción de las conexiones entre ellos en el área del cruzamiento doble diagonal.

Adicionalmente, para una correcta operación y explotación del Corredor Férreo del Sur se tiene previsto la instalación de diversas zonas de cruzamiento sencillo y terceras vías

que se encontraran ubicadas a lo largo del corredor, como se muestra en el siguiente diagrama esquemático:



**Figura 68 Diagrama Esquemático de la disposición de vías del Corredor Férreo del Sur**

Fuente: Elaboración Propia

Para elaborar el prediseño conceptual de la especificación de vías del Corredor Férreo del Sur, se tendrán en cuenta los siguientes elementos:

#### **Tercera vía paralela a la estación 1:**

Se incluye en el prediseño una tercera vía paralela a los andenes de la estación 1 para permitir la maniobra de trenes y mejorar la capacidad y flexibilidad operativa. Esta vía estará conectada a las vías principales mediante un sistema de desvíos y señalización adecuada. En próximas etapas se deben evaluar otras alternativas, tales como: una cuarta vía en la estación 1, maniobras en la zona posterior de la estación, entre otros.

#### **Cruzamientos dobles y sencillos:**

Se incluyen en el prediseño varios cruzamientos dobles y sencillos a lo largo del corredor para facilitar la maniobra de trenes y permitir la operación eficiente del sistema. Estos cruzamientos estarán estratégicamente ubicados entre las estaciones, según la demanda y las condiciones operativas, y estarán equipados con sistemas de señalización y enclavamiento adecuados. Adicionalmente, estos cruzamientos están previstos para ser usados ante la presencia de alguna contingencia en la línea comercial, logrando con esto poder realizar diferentes bucles de operación mientras se solventa el área afectada en la línea.

#### **Terceras vías:**

Se incluyen en el prediseño tramos de tercera vía en áreas específicas del corredor para permitir la maniobra de trenes y mejorar la capacidad y flexibilidad operativa. Estas vías estarán conectadas a las vías principales mediante sistemas de desvíos y señalización adecuada y estarán ubicadas en áreas donde la demanda y las condiciones operativas lo requieran.

#### **Salidas a patios:**

Se incluyen salidas / entradas a patios desde ambas vías entre las estaciones diecisiete (17) y dieciocho (18). Estas salidas permitirán el acceso a áreas de mantenimiento y almacenamiento de trenes, así como la maniobra de trenes en caso de incidentes o situaciones que requieran la reorganización del servicio.

#### **Sistemas de señalización y enclavamiento:**

Todos los cruzamientos, terceras vías y la zona de entrada / salida a patios deben estar equipados con sistemas de señalización y control desde el enclavamiento, adecuados para garantizar la seguridad y la eficiencia en la operación del corredor. Estos sistemas deben permitir la comunicación entre trenes, control de tráfico centralizado y la regulación automática de la velocidad y las maniobras de los trenes.

Teniendo en cuenta estos elementos, se profundizó en el prediseño conceptual de la especificación de vías del Corredor Férreo del Sur que permite satisfacer las demandas y necesidades operativas del sistema, garantizando la seguridad, la capacidad y la eficiencia en la prestación del servicio ferroviario.

#### **7.2.5 Limitaciones del Corredor**

A partir de la información brindada sobre el Nodo de Terminación y el diseño preliminar propuesto, se pueden identificar las siguientes limitaciones del Corredor Férreo del Sur:

- **Espacio Limitado para Maniobras de Retorno:** Las estaciones terminales, tanto en la Estación 1 (Santa Fé) como en la Estación 18 (Soacha Centro), presentan limitaciones de espacio en sus zonas posteriores. Esto ha obligado a la propuesta de establecer zonas de maniobra de retorno antes de la estación, lo cual podría generar complicaciones operativas y limitaciones en la capacidad del sistema.
- **Dependencia de Cruzamientos Dobles:** La necesidad de utilizar cruzamientos dobles o Bretelle para permitir el retorno de los trenes en áreas con limitado espacio puede ofrecer complicaciones en la operación, ya que estos sistemas requieren de una infraestructura más compleja y exigir más rigurosidad en los sistemas de señalización y control para garantizar la seguridad del tránsito de trenes.
- **Coordinación de Vías Múltiples:** La propuesta incluye terceras vías, cruzamientos sencillos, dobles y salidas a patios, lo que exige una planificación y coordinación meticulosas para garantizar un flujo eficiente y seguro del tráfico ferroviario.
- **Futuras Expansiones:** Las propuestas de diseño actuales, aunque buscan maximizar la eficiencia con el espacio disponible, pueden limitar las futuras expansiones o modificaciones del sistema.
- **Limitación Operativa Ante Contingencias:** Aunque se ha previsto el uso de cruzamientos sencillos y terceras vías para contingencias, la eficiencia de estos

sistemas en escenarios de alta demanda o durante emergencias aún debe ser validada.

- **Demanda y Flujo:** Las maniobras adicionales requeridas en las estaciones terminales pueden tener un impacto en el tiempo total de viaje y en la capacidad de atender a un alto volumen de pasajeros durante las horas pico.

### 7.3 ESTACIONES

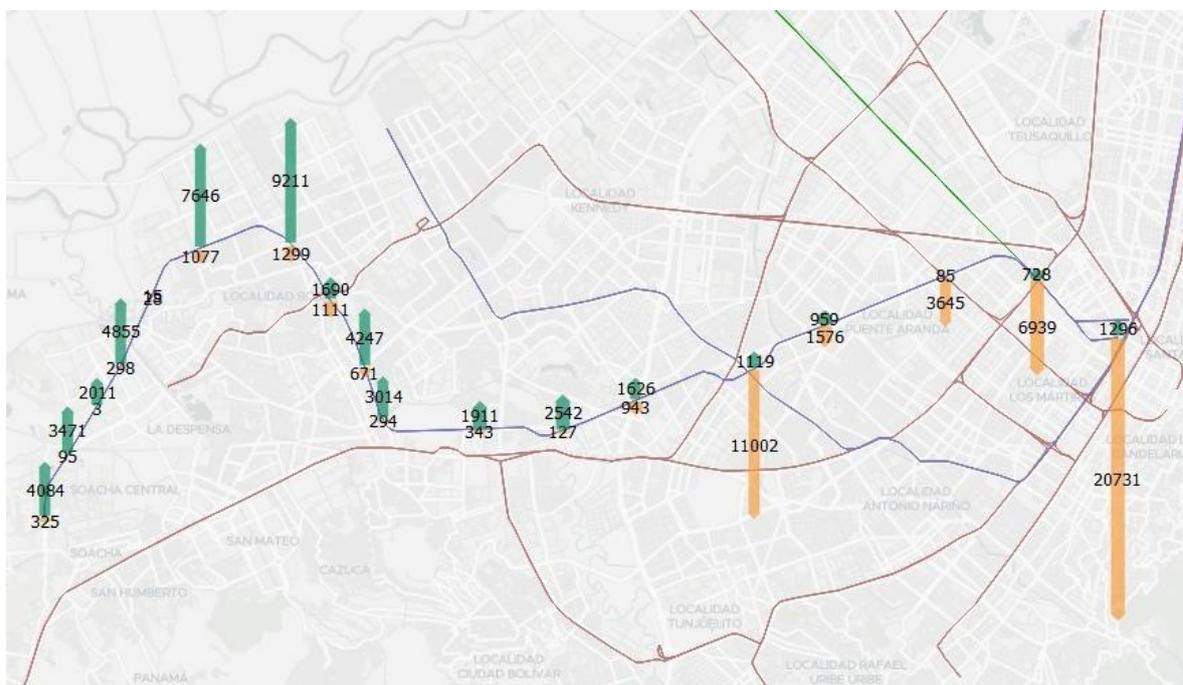
Para adecuar el tipo de estación, se analiza la demanda y las condiciones de operación en cada ubicación de las estaciones para determinar el tipo de estación más adecuado. Algunas estaciones pueden ser bimodales, lo que permite la conexión con otros modos de transporte como buses, mientras que otras podrían ser descentralizadas, integrales, sencillas o unimodales, dependiendo de las necesidades específicas de cada área.

Para seleccionar la tipología de cada una de las dieciocho (18) estaciones del Corredor Férreo del Sur, primero debemos analizar el estudio de demanda en función de los pasajeros que ascienden y descienden en cada estación.

En base a los datos proporcionados por la disciplina de Transporte, se puede clasificar la demanda de las estaciones en tres niveles:

- Alta demanda: Estaciones con un gran número de pasajeros, tanto ascendentes como descendentes.
- Demanda media: Estaciones con un número moderado de pasajeros, tanto ascendentes como descendentes.
- Baja demanda: Estaciones con un bajo número de pasajeros, tanto ascendentes como descendentes.

En la siguiente imagen se representa la cantidad de pasajeros que ascienden y descienden por estación.



**Figura 69 2 Demanda por Estación**

Fuente: Elaboración Propia (Transporte)

A continuación, se presenta una propuesta de tipología para cada estación, considerando los niveles de demanda mencionados:

Estación N°	Nombre de la Estación (Referencial)	Pasajeros que Ascienden	Pasajeros que Descienden	Nivel de Demanda	Tipología de la estación
1	Santa Fé	1296	20731	Alta	Integral
2	La Hoja	728	6939	Media	Descentralizada
3	Gorgonzola	85	3645	Baja	Unimodal
4	La Camelia	959	1576	Baja	Unimodal
5	San Eusebio	1119	11002	Media	Descentralizada
6	La Campiña	1626	943	Baja	Unimodal
7	Villa del Río	2542	127	Baja	Unimodal
8	Olarte	1911	343	Baja	Unimodal
9	Apogeo	3014	294	Baja	Unimodal
10	Bosa Centro	4247	671	Media	Descentralizada
11	La Paz	1690	1111	Baja	Unimodal
12	Las Margaritas	9211	1299	Alta	Integral
13	Tintal	7646	1077	Alta	Integral

Estación N°	Nombre de la Estación (Referencial)	Pasajeros que Ascienden	Pasajeros que Descienden	Nivel de Demanda	Tipología de la estación
14	El Edén	15	25	Baja	Unimodal
15	Frailejones	4855	298	Media	Descentralizada
16	Ciudad Verde	2011	3	Baja	Unimodal
17	Las Huertas	3471	95	Media	Descentralizada
18	Soacha Centro	4084	325	Media	Descentralizada

**Tabla 9 Selección de Tipología de Estación**

Fuente: Elaboración Propia

Estas tipologías permiten adaptar el diseño y la funcionalidad de cada estación según la demanda, asegurando una operación eficiente y adecuada para cada contexto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos datos pueden cambiar a lo largo del tiempo y que es necesario realizar un análisis más detallado y actualizado del estudio de demanda durante la fase de diseño definitivo del proyecto.

A continuación, se definen los diferentes tipos de estaciones:

**Bimodal:** Estas estaciones están diseñadas para atender a dos modos de transporte diferentes, como trenes y autobuses o tranvías. En estas estaciones, se integran elementos como áreas de espera, venta de boletos, sistemas de información y otros servicios para ambos modos de transporte.

**Descentralizada:** Las estaciones descentralizadas cuentan con múltiples accesos y espacios de servicio distribuidos a lo largo de su extensión, lo que facilita el acceso a diferentes zonas del entorno urbano circundante. Estas estaciones pueden incluir servicios como áreas de espera, venta de boletos, atención al cliente e información, pero se distribuyen en diferentes puntos de la estación para mejorar la movilidad de los usuarios.

**Integral:** Las estaciones integrales están diseñadas para atender a un alto volumen de pasajeros y ofrecer una amplia gama de servicios y comodidades en un solo lugar. Por lo general, cuentan con una gran área de espera, múltiples accesos y salidas, y una amplia variedad de servicios como venta de boletos, atención al cliente, información, tiendas, restaurantes y otros servicios complementarios. Estas estaciones pueden servir como nodos de conexión entre diferentes líneas de transporte y tienen una mayor capacidad para manejar grandes volúmenes de pasajeros.

**Sencilla:** Las estaciones sencillas son estaciones de menor tamaño y complejidad, diseñadas para atender a una demanda de pasajeros relativamente baja. Por lo general, cuentan con una sola plataforma y un mínimo de servicios, como áreas de espera y venta de boletos. Estas estaciones pueden tener un solo acceso y salida y están diseñadas para ser eficientes y fáciles de mantener.

**Unimodal:** Las estaciones unimodales están diseñadas para atender a un solo modo de transporte, como trenes, autobuses o tranvías. Estas estaciones pueden variar en tamaño y capacidad, pero en general están diseñadas específicamente para facilitar el acceso y la circulación de pasajeros en un solo tipo de transporte. Los servicios y

comodidades en estas estaciones pueden incluir áreas de espera, venta de boletos, información y otros servicios básicos relacionados con el modo de transporte específico.

En lo referente a la infraestructura y servicios complementarios. Para todas las estaciones, independientemente del tipo, se deben considerar los siguientes elementos:

- a) Espacios para información: Áreas destinadas a proporcionar información sobre rutas, horarios y tarifas a los usuarios.
- b) Venta de boletos / recarga: Taquillas y/o máquinas expendedoras / recarga de boletos para facilitar el acceso al sistema.
- c) Atención al cliente: Espacios destinados a la atención de consultas, quejas y reclamos de los usuarios.
- d) Plataforma de embarque: Área donde los usuarios abordan y descienden de los trenes.
- e) Pasarelas y controles de acceso: Pasarelas para cruzar las vías de forma segura y sistemas de control de acceso que garantizan que solo los usuarios con boletos válidos ingresen a la plataforma de embarque.
- f) Andenes: Áreas de espera para los usuarios, provistas de asientos, iluminación y señalización adecuada.
- g) Elementos de circulación vertical: Escaleras, rampas y/o ascensores que permiten a los usuarios moverse entre diferentes niveles de la estación.

### 7.3.1 Áreas Técnicas de las Estaciones

Para determinar el tamaño apropiado de las áreas técnicas en las estaciones, es necesario considerar las necesidades específicas de cada sistema. A continuación, se proporcionan algunas recomendaciones generales para el tamaño de las áreas técnicas:

- **Cuarto técnico de Señalización:** El cuarto técnico de señalización alberga el equipo necesario para gestionar y controlar los sistemas de señalización ferroviaria. El tamaño de este cuarto puede variar según la complejidad del sistema de señalización y la cantidad de equipamiento en vía que debe controlar. Como recomendación general, un cuarto técnico de señalización puede tener un tamaño que varía entre veinte (20) y treinta (30) metros cuadrados.
- **Cuarto técnico de Telecomunicaciones:** Este cuarto alberga el equipo necesario para la gestión de las telecomunicaciones en la estación, incluyendo sistemas de comunicación entre trenes, comunicación con el centro de control de operaciones y sistemas de información al pasajero. El tamaño de este cuarto puede variar según la cantidad de equipos y la cantidad de conexiones necesarias. Como recomendación general, un cuarto técnico de telecomunicaciones puede tener un tamaño que varía entre quince (15) y veinte (20) metros cuadrados.
- **Centro de Transformación de Energía (CTE):** El CTE es responsable de la distribución y transformación de la energía eléctrica necesaria para la operación de la estación y los sistemas no ferroviarios. El tamaño del CTE puede variar según la demanda de energía y los equipos necesarios para su transformación

y distribución. Como recomendación general, un CTE puede tener un tamaño que varía entre setenta (70) y noventa (90) metros cuadrados.

- **Cuarto técnico de Ventilación y Climatización:** Este cuarto alberga el equipo necesario para proporcionar la ventilación adecuada y el control de temperatura y humedad en la estación y en el túnel. El tamaño de este cuarto dependerá de la capacidad y el tipo de equipos instalados. Como recomendación general, este cuarto puede tener un tamaño que varía entre treinta (30) y sesenta (60) metros cuadrados.
- **Cuarto técnico de Iluminación y alumbrado:** Este cuarto alberga el equipo necesario para el control y la distribución de la iluminación en la estación, incluyendo sistemas de iluminación de emergencia y alumbrado público. El tamaño de este cuarto puede variar según la cantidad de equipos y conexiones necesarias. Como recomendación general, este cuarto puede tener un tamaño que varía entre quince (15) y treinta (30) metros cuadrados.
- **Cuarto técnico de Control de Accesos y Seguridad:** Este cuarto alberga el equipo necesario para gestionar el control de accesos a la estación y áreas restringidas, así como los sistemas de seguridad, incluyendo cámaras de vigilancia, alarmas y sistemas de detección de incendios. El tamaño de este cuarto puede variar según la cantidad de equipos y conexiones necesarias. Como recomendación general, este cuarto puede tener un tamaño que varía entre veinte (20) y cuarenta (40) metros cuadrados.
- **Cuarto técnico de Instalaciones Hidrosanitarias:** Este cuarto alberga el equipo necesario para gestionar las instalaciones hidrosanitarias de la estación, incluyendo el suministro de agua potable, alcantarillado, y sistemas de drenaje. El tamaño de este cuarto puede variar según la cantidad de equipos y conexiones necesarias. Como recomendación general, este cuarto puede tener un tamaño que varía entre quince (15) y treinta (30) metros cuadrados.
- **Cuarto técnico de Mantenimiento:** Este cuarto se utiliza para almacenar herramientas y equipos necesarios para el mantenimiento y reparación de los sistemas de la estación. El tamaño de este cuarto dependerá de la cantidad de herramientas y equipos almacenados, así como de la necesidad de espacio para realizar trabajos de mantenimiento. Como recomendación general, este cuarto puede tener un tamaño que varía entre veinte (20) y cincuenta (50) metros cuadrados. Se debe verificar estratégicamente en que estaciones se debe prever
- **Cuarto de Venta de Boletos:** Este cuarto alberga el equipo necesario para gestionar la venta / recarga de boletos de manera manual, es decir, mediante un operador de venta. Adicionalmente, en este cuarto debe albergar los equipos necesarios que verifican y controlan todo el equipamiento del sistema de cobro de pasajes (Máquinas de recarga automática, manual, torniquetes, puertas de acceso para personas con movilidad reducida, etc). Como recomendación general, este cuarto puede tener un tamaño que varía entre quince (15) y veinte (20) metros cuadrados.

- **Cuarto de Baterías:** es un espacio dedicado al almacenamiento, mantenimiento y gestión de baterías de respaldo que proporcionan energía de emergencia en caso de fallos en el suministro eléctrico principal. Estos cuartos son fundamentales para garantizar la continuidad de las operaciones y la seguridad en las estaciones durante eventos imprevistos o situaciones de emergencia. Los cuartos de baterías suelen contar con sistemas de ventilación adecuados para disipar el calor generado durante la carga y descarga de las baterías, así como para prevenir la acumulación de gases potencialmente peligrosos. Este cuarto puede tener un tamaño que varía entre diez (10) y doce (12) metros cuadrados.

Estas dimensiones de las áreas técnicas son solo recomendaciones generales y que en etapas futuras del proyecto deben ser evaluadas según las necesidades específicas y los requerimientos técnicos para determinar el tamaño más apropiado para cada cuarto técnico. Además, también es necesario considerar las regulaciones y normas locales de seguridad y construcción al diseñar estas áreas.

## 8 PROPUESTA DE TIPOLOGÍA Y DIMENSIONAMIENTO DEL MATERIAL RODANTE

La demanda esperada de pasajeros y las condiciones operacionales de la línea indican que un sistema de trenes de pasajeros de tipo Metro pesado es la mejor opción para el Corredor Férreo del Sur. Este sistema proporciona una capacidad de transporte adecuada, eficiencia en consumo de energía y mantenimiento. Ver parámetros operacionales en el apartado 6.2.10 Prediseño de las Operaciones Ferroviarias.

Durante la etapa II RAI, se evaluaron varias opciones de tipologías de sistemas ferroviarios en la región, como la PLMB y la L2MB, Regiotram de Occidente, entre otros. Tras la evaluación, se seleccionó la tipología del tren de la L2MB como la más adecuada para el Corredor Férreo del Sur, debido a que cumple con los requerimientos y características del sistema resultante de los estudios de demanda y con el fin de proyectar una interoperabilidad entre sistemas a futuro.

El material rodante debe estar diseñado para operar en vías dedicadas, separadas del tráfico de vehículos y peatones (vías subterráneas). Los trenes deben caracterizarse por su alta capacidad de transporte, velocidad moderada y alta frecuencia de servicio.

La demanda estimada para el Corredor Férreo del Sur es de 42.339 pasajeros por hora por sentido (ver documento de Análisis de Transporte CAC-SGC-TRA-INF.PAS-1-v.0) Para satisfacer esta demanda, es necesario realizar un análisis detallado de las condiciones operacionales y ajustar el sistema de acuerdo con las necesidades específicas. Para ello se deben seleccionar trenes con la capacidad suficiente y la velocidad ideal para cumplir con el intervalo necesario y así cubrir la demanda. Cada tren tiene una capacidad de 1,800 pasajeros, lo que resulta que el sistema tendrá la capacidad para transportar 43,200 pasajeros por hora por sentido en un intervalo mínimo de 2,5 minutos, para ello se requieren 24 trenes por hora por sentido (43,200 pasajeros / 1,800 pasajeros por tren = 24 trenes).

Para asegurar una frecuencia adecuada en horas pico y satisfacer la demanda, el intervalo mínimo entre trenes debe ser de 2.5 minutos. Esto significa que, en una hora, habrá 24 intervalos de tiempo (60 minutos / 2.5 minutos por intervalo = 24 intervalos)

que corresponden a los 24 trenes necesarios para cubrir la demanda por hora por sentido.

La velocidad operativa del sistema debe garantizar que cada tren pueda recorrer la distancia entre las estaciones en el intervalo establecido, considerando el tiempo de parada en cada estación y la aceleración y desaceleración de los trenes. La velocidad comercial del sistema es de 42,87km/h y el tiempo de recorrido en un sentido es de 34.2 minutos, datos analizados en función de la longitud del trazado (23,141 km), la ubicación de las estaciones y las características técnicas del material rodante. Esta información se ha presentado también en el apartado 6.2.10 Prediseño de las Operaciones Ferroviarias.

Para profundizar más acerca de la tipología del dimensionamiento del material rodante es necesario presentar sus características de prediseño.

## 8.1 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL RODANTE

El prediseño del material rodante para el Corredor Férreo del Sur debe estar basado en las siguientes características:

### 8.1.1 Dimensiones del tren:

Cantidad de vagones: 7

Longitud total del tren: 150 metros

Longitud por vagón: 150 metros / 7 vagones  $\approx$  21,4 metros por vagón

Ancho del tren: 2,90 metros

Altura desde el riel hasta el techo del tren: 3,900 mm (3,9 metros)

Trocha estándar: 1.435 mm (1,435 metros)

Galibo compatible: El galibo estático, el dinámico y el libre de obstáculos (GLO) del tren deben estar compatibles con la Línea 2 del Metro de Bogotá.

Este galibo debe respetar el galibo del pasillo lateral (sarcófago):

- 610 mm = ancho mínimo del área de camino;
- 760 mm = ancho mínimo a 1 420 mm encima del área de camino;
- 900 mm = ancho mínimo a 2 050 mm encima del área de camino.

### 8.1.2 Capacidad y distribución de pasajeros:

- Capacidad máxima de pasajeros: 1.800
- Capacidad por vagón: 1.800 pasajeros / 7 vagones  $\approx$  257 pasajeros por vagón (redondeado al entero más cercano)

En este prediseño, se asume una distribución uniforme de pasajeros en cada vagón. Es posible que algunos vagones estén diseñados específicamente para pasajeros con movilidad reducida, áreas para bicicletas o áreas de asientos prioritarios. Para un diseño más detallado, sería necesario considerar aspectos como la distribución interna de asientos y espacios.

### 8.1.3 Velocidad y rendimiento:

- Velocidad máxima de diseño: 100 km/h
- Velocidad media (para cálculos de energía): 40 km/h
- Velocidad máxima de servicio: 80km/h
- Velocidad máxima en talleres: 15km/h

### 8.1.4 Sistema de alimentación eléctrica:

- Alimentación por catenaria rígida
- Tensión de alimentación: 1.500 Vcc

### 8.1.5 Sistema de propulsión:

Tipo: motor eléctrico de tracción (por ejemplo, motor de inducción trifásico, motor síncrono de imanes permanentes)

Configuración: varios motores eléctricos de tracción distribuidos a lo largo de los vagones. La configuración precisa del tren (vagones motorizados vs vagones remolque) debe especificarse en próximas etapas, basada en la satisfacción de la demanda y el diseño geométrico férreo de la línea.

Control de tracción: control de frecuencia variable y tensión, que permite una aceleración y desaceleración suave

El sistema de propulsión es una parte esencial del material rodante, ya que es responsable de convertir la energía eléctrica en movimiento mecánico. A continuación, se presenta una descripción más detallada de la propuesta del sistema de propulsión para un tren de pasajeros del Corredor Férreo del Sur:

#### 8.1.5.1 Motor eléctrico de tracción:

Existen diferentes tipos de motores eléctricos de tracción, como el motor de inducción trifásico y el motor síncrono de imanes permanentes. Ambos tipos de motores tienen sus propias ventajas y desventajas. Por ejemplo, los motores de inducción son más simples y robustos, pero suelen ser menos eficientes que los motores síncronos de imanes permanentes, que pueden ser más costosos pero ofrecen una mayor eficiencia energética y un mejor rendimiento en términos de par y velocidad.

#### 8.1.5.2 Configuración de la propulsión:

La propulsión puede ser centralizada, con un motor de tracción grande que impulsa todo el tren, o distribuida, con varios motores de tracción más pequeños ubicados a lo largo de los vagones. La propulsión distribuida es la más recomendada para el Corredor Férreo del Sur y la más común en los trenes de pasajeros modernos, ya que ofrece una mejor distribución del peso, una mayor capacidad de aceleración y desaceleración, y una mayor flexibilidad en la configuración del tren.

#### **8.1.5.3 Transmisión de potencia:**

La potencia del motor se transmite a las ruedas a través de una transmisión, que puede ser de engranajes o cardán. La transmisión de engranajes es más común en trenes de alta velocidad, mientras que la transmisión cardán es más común en trenes urbanos y de cercanías. La elección de la transmisión dependerá de los requisitos de rendimiento y eficiencia para el proyecto.

#### **8.1.5.4 Control de tracción:**

Los sistemas de control de tracción modernos utilizan la modulación de ancho de pulso (PWM) y la tecnología de control vectorial para ajustar la frecuencia y la tensión suministrada al motor, lo que permite una aceleración y desaceleración suave y controlada. Estos sistemas también incluyen el frenado regenerativo, que devuelve energía a la red eléctrica cuando el tren desacelera, mejorando la eficiencia energética general del sistema.

#### **8.1.5.5 Refrigeración:**

Los motores de tracción y otros componentes del sistema de propulsión pueden generar una cantidad significativa de calor durante la operación. Por lo tanto, es fundamental contar con un sistema de refrigeración eficiente, que puede incluir ventilación forzada, refrigeración líquida o refrigeración por aire, según las necesidades y las condiciones de operación del tren.

Al diseñar el sistema de propulsión para el tren del Corredor Férreo del Sur, es crucial tener en cuenta factores como la eficiencia energética, el rendimiento, la confiabilidad y el mantenimiento. Trabajar con un equipo de ingeniería experimentado en el diseño de sistemas de propulsión ferroviaria garantizará que se tomen en cuenta todos los aspectos importantes y se desarrollen soluciones óptimas para el proyecto.

#### **8.1.6 Frenado:**

El sistema de frenado es otro componente crítico del material rodante, ya que es responsable de detener el tren de manera segura y controlada. Los trenes modernos suelen contar con varios sistemas de frenado, que trabajan juntos para proporcionar una capacidad de frenado eficiente y confiable. A continuación, se presentan los diferentes tipos de frenos y sus características para un tren de pasajeros como el propuesto en el Corredor Férreo del Sur:

##### **8.1.6.1 Frenos neumáticos:**

Los frenos neumáticos o de aire comprimido son el tipo más común de frenos utilizados en trenes. Estos frenos funcionan mediante la aplicación de aire comprimido a cilindros de freno en cada rueda, que a su vez activan las zapatas de freno y ejercen presión sobre la superficie de las ruedas. Los frenos neumáticos ofrecen una gran capacidad de frenado y son confiables, pero pueden ser menos eficientes en términos de energía que otros tipos de frenos.

#### **8.1.6.2 Frenos eléctricos:**

Los frenos eléctricos, también conocidos como frenos de corriente continua o dinámicos, utilizan la fuerza electromagnética para desacelerar el tren. Durante el proceso de frenado, los motores de tracción se convierten en generadores y la energía generada se disipa en forma de calor a través de resistencias de frenado o se devuelve a la red eléctrica en el caso del frenado regenerativo. Los frenos eléctricos son altamente eficientes en términos de energía, pero su capacidad de frenado puede verse limitada por las condiciones de la pista y la adherencia rueda-carril.

#### **8.1.6.3 Frenos mecánicos:**

Los frenos mecánicos, como los frenos de disco, son un sistema de respaldo adicional en caso de falla en los sistemas de frenado neumático y eléctrico. Los frenos de disco funcionan mediante la aplicación de fuerza mecánica a discos de freno montados en los ejes del tren, creando fricción y desacelerando el tren. Estos frenos pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico y proporcionan una capacidad de frenado adicional en situaciones de emergencia.

#### **8.1.6.4 Frenado regenerativo:**

Como se mencionó anteriormente, el frenado regenerativo es un proceso en el que la energía generada durante el frenado se devuelve a la red eléctrica en lugar de disiparse en forma de calor. Esto mejora la eficiencia energética del tren y reduce el desgaste en los componentes del sistema de frenado.

#### **8.1.6.5 Sistema de control de frenado:**

El sistema de control de frenado es responsable de coordinar y controlar los diferentes tipos de frenos en función de las condiciones de la vía, la velocidad del tren y los requisitos de desaceleración. Los sistemas de control de frenado modernos pueden ajustar la fuerza de frenado en tiempo real y optimizar la combinación de frenos utilizados para garantizar una desaceleración suave y controlada en todo momento.

Al diseñar el sistema de frenado para el tren del Corredor Férreo del Sur, es esencial tener en cuenta factores como la seguridad, la eficiencia energética, la capacidad de frenado y la durabilidad de los componentes. Además, es importante considerar las condiciones de la vía, las velocidades de operación y las características de carga del tren.

Algunos aspectos adicionales a tener en cuenta al diseñar el sistema de frenado incluyen:

#### 8.1.6.6 Integración con otros sistemas del tren:

Es importante que el sistema de frenado esté bien integrado con otros sistemas del tren, como el sistema de control de tracción y el sistema de control de trenes. Esto garantizará un rendimiento óptimo y una coordinación adecuada entre los diferentes sistemas durante la operación del tren.

#### 8.1.6.7 Mantenimiento y monitoreo:

Un aspecto crítico en el diseño del sistema de frenado es garantizar que sea fácil de mantener y monitorear. Esto puede incluir la selección de componentes de alta calidad y duraderos, así como la incorporación de sistemas de monitoreo y diagnóstico para identificar problemas potenciales y facilitar el mantenimiento preventivo.

#### 8.1.6.8 Cumplimiento de normas y regulaciones:

Al diseñar el sistema de frenado, es fundamental cumplir con las normas y regulaciones locales e internacionales aplicables. Esto puede incluir estándares de seguridad, rendimiento y eficiencia energética, así como requisitos específicos para la interacción con la infraestructura de la vía y otros sistemas del tren.

En conclusión, al diseñar el sistema de frenado para el tren del Corredor Férreo del Sur, es importante considerar una amplia gama de factores y trabajar en estrecha colaboración con un equipo de ingeniería experimentado. Al abordar todos estos aspectos clave, se puede desarrollar un sistema de frenado eficiente, confiable y seguro que cumpla con los requisitos de rendimiento y seguridad del proyecto en etapas futuras.

#### 8.1.7 Suspensión y bogies:

La suspensión y los bogies son componentes fundamentales del material rodante, ya que garantizan una conducción suave y estable y proporcionan soporte estructural a los vagones del tren. La suspensión y los bogies también influyen en la capacidad de carga, la velocidad máxima y el desgaste de las ruedas y los rieles. A continuación, se presentan los aspectos clave de la suspensión y los bogies para un tren de pasajeros como el propuesto en el Corredor Férreo del Sur:

##### 8.1.7.1 Suspensión primaria:

La suspensión primaria es la conexión entre las ruedas y los bogies y es responsable de absorber las vibraciones y las fuerzas de impacto generadas durante la operación del tren. La suspensión primaria generalmente consiste en resortes helicoidales o de aire, así como amortiguadores para controlar el movimiento vertical y lateral de las ruedas.

##### 8.1.7.2 Suspensión secundaria:

La suspensión secundaria se encuentra entre el bogie y la estructura del vagón y es responsable de aislar aún más las vibraciones y las fuerzas de impacto para garantizar una conducción suave y cómoda para los pasajeros. La suspensión secundaria puede

consistir en resortes de aire o resortes helicoidales, junto con amortiguadores para controlar el movimiento vertical y lateral del vagón.

#### **8.1.7.3 Bogies:**

Los bogies son estructuras articuladas que soportan la carga de los vagones y proporcionan estabilidad y sujeción a las ruedas. Los bogies también permiten el movimiento de los vagones alrededor de las curvas y garantizan un contacto óptimo entre las ruedas y los rieles. Los bogies generalmente consisten en un marco de acero o aleaciones ligeras, junto con ejes, ruedas, rodamientos y sistemas de suspensión.

#### **8.1.7.4 Rodamientos y ruedas:**

Los rodamientos y las ruedas son componentes críticos de los bogies y la suspensión, ya que soportan la carga del tren y proporcionan un contacto constante con los rieles. Los rodamientos modernos suelen ser de tipo rodillo o bolas, mientras que las ruedas pueden ser de acero sólido o con bandas de rodamiento reemplazables.

#### **8.1.7.5 Sistema de guiado:**

El sistema de guiado es parte integral de la suspensión y los bogies, ya que garantiza un seguimiento preciso y seguro de los rieles. El sistema de guiado puede incluir elementos como pivotes centrales, barras estabilizadoras y sistemas de control de desplazamiento lateral para mantener la alineación correcta entre el tren y la vía.

Al diseñar la suspensión y los bogies para el tren del Corredor Férreo del Sur, es esencial tener en cuenta factores como la comodidad del pasajero, la capacidad de carga, la velocidad máxima, la durabilidad y el mantenimiento. Trabajar con un equipo de ingeniería experimentado en el diseño de sistemas de suspensión y bogies ferroviarios asegurará que se aborden todos los aspectos clave y se desarrollen soluciones óptimas para el proyecto en etapas futuras.

#### **8.1.8 Sistema de puertas:**

El sistema de puertas en un tren de pasajeros del Corredor Férreo del Sur es un componente crítico que afecta la seguridad, la eficiencia y la comodidad del transporte. Las puertas deben ser diseñadas y seleccionadas de acuerdo con los requisitos específicos del proyecto y las normas y regulaciones aplicables. A continuación, se presentan los aspectos clave a tener en cuenta al diseñar el sistema de puertas para el tren del Corredor Férreo del Sur:

##### **8.1.8.1 Tipo de puertas:**

Las puertas pueden ser de dos tipos principales: puertas corredizas y puertas abatibles. Las puertas corredizas son más comunes en los trenes de pasajeros, ya que ofrecen una mayor eficiencia en el espacio y facilitan el flujo rápido de pasajeros en las estaciones. Las puertas corredizas pueden ser de apertura simple, doble o telescópica.

##### **8.1.8.2 Número y ubicación de puertas:**

El número y la ubicación de las puertas en cada vagón deben determinarse según la capacidad de pasajeros del tren, la distribución de asientos y las características de las estaciones a lo largo de la ruta. Un mayor número de puertas puede facilitar el flujo de pasajeros y reducir los tiempos de parada en las estaciones, pero también puede afectar el espacio disponible para asientos y pasillos.

#### **8.1.8.3 Operación de puertas:**

Las puertas pueden ser operadas manualmente por los pasajeros, o automáticamente a través de un sistema de control centralizado. Las puertas automáticas suelen ser preferibles en los sistemas de transporte público, ya que garantizan una mayor seguridad y eficiencia en la operación. El sistema de control de puertas debe estar integrado con otros sistemas del tren, como el sistema de control de trenes y el sistema de anuncios.

#### **8.1.8.4 Seguridad de puertas:**

La seguridad es un aspecto crítico en el diseño del sistema de puertas. Esto puede incluir características como sensores de detección de obstáculos, sistemas de bloqueo y desbloqueo de puertas, y sistemas de monitoreo y diagnóstico. También es importante garantizar que las puertas cumplan con las normas y regulaciones de seguridad aplicables, como las especificaciones de resistencia al fuego y las pruebas de impacto.

#### **8.1.8.5 Accesibilidad y diseño ergonómico:**

Las puertas deben ser diseñadas teniendo en cuenta la accesibilidad y la comodidad de los pasajeros, incluidos aquellos con movilidad reducida. Esto puede incluir características como umbrales bajos, sistemas de apertura y cierre suaves y barandillas adecuados.

#### **8.1.8.6 Mantenimiento y durabilidad:**

El sistema de puertas debe ser fácil de mantener y tener en cuenta la durabilidad y la vida útil de los componentes. Esto puede incluir la selección de materiales resistentes y de alta calidad, así como la incorporación de sistemas de monitoreo y diagnóstico para identificar problemas potenciales y facilitar el mantenimiento preventivo.

Al diseñar el sistema de puertas para el tren del Corredor Férreo del Sur en las próximas etapas, será esencial considerar una amplia gama de factores, incluidos la seguridad, la eficiencia, la accesibilidad y la durabilidad.

#### **8.1.9 Climatización:**

La climatización en un tren de pasajeros, como el del Corredor Férreo del Sur, es fundamental para proporcionar un ambiente confortable y seguro a los pasajeros durante su viaje. La climatización incluye el control de la temperatura, la humedad y la

calidad del aire en el interior de los vagones. A continuación, se presentan los aspectos clave a tener en cuenta al diseñar el sistema de climatización para el tren del Corredor Férreo del Sur:

#### **8.1.9.1 Tipo de sistema de climatización:**

Los sistemas de climatización para trenes de pasajeros generalmente consisten en unidades de aire acondicionado y calefacción montadas en el techo o debajo de los vagones. Estos sistemas pueden ser de expansión directa (DX) o de ciclo de refrigeración por agua. Los sistemas DX son más comunes en trenes de pasajeros debido a su menor peso y mayor eficiencia energética.

#### **8.1.9.2 Capacidad de enfriamiento y calefacción:**

La capacidad de enfriamiento y calefacción del sistema de climatización debe dimensionarse de acuerdo con la carga térmica estimada en los vagones, que incluye factores como la ocupación máxima de pasajeros, la temperatura exterior, la exposición al sol y la ganancia de calor a través de las ventanas. El sistema de climatización debe ser capaz de mantener una temperatura interior confortable y estable en todas las condiciones de operación.

#### **8.1.9.3 Control de la humedad:**

El control de la humedad es esencial para garantizar la comodidad de los pasajeros y prevenir problemas de condensación y crecimiento de moho en el interior de los vagones. Los sistemas de climatización para trenes de pasajeros generalmente incluyen deshumidificadores para mantener la humedad relativa dentro de un rango aceptable (por ejemplo, 40-60%).

#### **8.1.9.4 Ventilación y calidad del aire:**

La ventilación es un aspecto importante de la climatización en los trenes de pasajeros, ya que garantiza un suministro adecuado de aire fresco y la eliminación de contaminantes y olores del interior de los vagones. El sistema de climatización debe incluir ventiladores y filtros de aire para garantizar una calidad del aire adecuada. Los sistemas más avanzados también pueden incluir sensores de calidad del aire y sistemas de control de demanda de ventilación (DCV) para ajustar automáticamente el flujo de aire fresco según las necesidades.

#### **8.1.9.5 Eficiencia energética y sostenibilidad:**

La eficiencia energética es un factor importante en el diseño del sistema de climatización, ya que afecta el consumo de energía del tren y su impacto ambiental. El sistema de climatización debe ser diseñado para minimizar el consumo de energía a través de medidas como la selección de equipos de alta eficiencia, el uso de sistemas de control inteligentes y la incorporación de tecnologías de recuperación de energía.

#### 8.1.9.6 Mantenimiento y durabilidad:

El sistema de climatización debe ser diseñado para facilitar el mantenimiento y garantizar la durabilidad y la vida útil de los componentes. Esto puede incluir la selección de materiales y componentes de alta calidad, así como el diseño de sistemas de fácil acceso para la inspección y el mantenimiento.

#### 8.1.9.7 Integración con otros sistemas del tren:

El sistema de climatización debe estar integrado con otros sistemas del tren, como el sistema de control de trenes, el sistema eléctrico y la estructura del vagón. Esto puede incluir la coordinación de la ubicación de los equipos de climatización, las conexiones eléctricas y de control, y el diseño de ductos y rejillas de aire.

#### 8.1.10 Iluminación:

La iluminación en un tren de pasajeros, como el del Corredor Férreo del Sur, es un aspecto esencial que influye en la comodidad, la seguridad y la eficiencia energética del sistema de transporte. A continuación, se presentan los aspectos clave a tener en cuenta al diseñar el sistema de iluminación para el tren del Corredor Férreo del Sur:

ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

##### 8.1.10.1 Tecnología de iluminación:

MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

La tecnología LED (diodo emisor de luz) es la opción preferida en la actualidad para la iluminación de trenes debido a su alta eficiencia energética, larga vida útil y bajo mantenimiento. Los LED también son más resistentes a las vibraciones y las fluctuaciones de temperatura que otras tecnologías de iluminación, lo que los hace ideales para aplicaciones en trenes.

##### 8.1.10.2 Distribución de la iluminación:

El diseño de la iluminación debe proporcionar una distribución uniforme de la luz en todo el interior del vagón y tener en cuenta las diferentes zonas y funciones, como los asientos, los pasillos, las áreas de acceso y salida, y los compartimentos de equipaje. Además, el diseño debe considerar la ubicación y orientación de las luminarias para minimizar el deslumbramiento y garantizar una iluminación adecuada en función de las necesidades de los pasajeros.

##### 8.1.10.3 Niveles de iluminación y control:

Es importante establecer niveles de iluminación adecuados para cada zona y función del vagón, teniendo en cuenta factores como la comodidad visual, la seguridad y las tareas específicas de los pasajeros. La iluminación también debe ser regulable para

adaptarse a las diferentes condiciones de uso, como la iluminación diurna y nocturna, y para permitir el ahorro de energía cuando no se requiere una iluminación intensa. Los sistemas de control de iluminación pueden incluir sensores de ocupación, sensores de luz natural y temporizadores para ajustar automáticamente los niveles de iluminación según las necesidades.

#### **8.1.10.4 Iluminación de emergencia y señalización:**

Es fundamental incluir un sistema de iluminación de emergencia que se active automáticamente en caso de un corte de energía o una situación de emergencia. La iluminación de emergencia debe ser suficiente para permitir la evacuación segura de los pasajeros y el acceso a los equipos de seguridad. Además, se deben proporcionar señales de salida iluminadas y otras señalizaciones de seguridad según las normativas aplicables.

#### **8.1.10.5 Eficiencia energética y sostenibilidad:**

La eficiencia energética es un factor clave en el diseño del sistema de iluminación, ya que influye en el consumo de energía del tren y su impacto ambiental. El uso de tecnologías de iluminación eficientes, como los LED, y sistemas de control inteligente puede reducir significativamente el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, la selección de materiales y componentes de iluminación de baja emisión y reciclables puede mejorar la sostenibilidad del sistema.

#### **8.1.10.6 Mantenimiento y durabilidad:**

El sistema de iluminación debe ser diseñado para facilitar el mantenimiento y garantizar la durabilidad y la vida útil de los componentes. Esto puede incluir la selección de

luminarias y componentes de alta calidad, así como el diseño de sistemas de montaje y acceso que faciliten la inspección, el reemplazo y la reparación de los elementos de iluminación.

#### **8.1.10.7 Cumplimiento de normas y regulaciones:**

El diseño del sistema de iluminación debe cumplir con las normas y regulaciones aplicables en términos de seguridad, rendimiento y eficiencia energética. Esto puede incluir estándares nacionales e internacionales, así como regulaciones específicas para el sector ferroviario.

#### **8.1.10.8 Estética y diseño interior:**

La iluminación también juega un papel importante en la estética y el diseño interior del tren. La selección de luminarias, colores de luz y técnicas de iluminación debe complementar el diseño general del vagón y contribuir a crear un ambiente agradable y confortable para los pasajeros. Además, el diseño de la iluminación debe tener en cuenta aspectos como la integración arquitectónica de las luminarias y la elección de materiales y acabados que armonicen con el diseño interior del vagón.

#### **8.1.11 Sistema de comunicación e información al pasajero:**

Anuncios de voz automáticos y pantallas de información visual que informan a los pasajeros sobre la próxima estación, conexiones y otras informaciones relevantes.

Sistema de intercomunicación para la comunicación entre pasajeros y el conductor o el centro de control en caso de emergencia

#### **8.1.12 Seguridad y vigilancia:**

Sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV) para monitorear la seguridad de los pasajeros en tiempo real.

Sistemas de detección de humo y extinción de incendios para proteger a los pasajeros en caso de un incendio a bordo.

#### **8.1.13 Sistema de alimentación eléctrica a bordo:**

Transformadores y convertidores de potencia para convertir la tensión de alimentación (1.500 Vcc) a los niveles de tensión requeridos para los diferentes sistemas y componentes del tren (por ejemplo, iluminación, aire acondicionado, control de tracción, sistema de puertas, comunicaciones, señalización, entre otros)

Distribución de energía y protección mediante interruptores y fusibles

#### **8.1.14 Sistema de señalización y seguridad:**

Sistema de señalización en vía y a bordo para garantizar la separación segura entre trenes y evitar colisiones.

Sistemas de Protección Automática del Tren (ATP) y Sistema de Operación Automática del Tren (ATO) este último siendo de tecnología CBTC con un grado de automatización GoA 4, mínimamente GoA 3, para garantizar la operación automática y segura en todo momento.

#### **8.1.15 Interiores y asientos:**

Asientos ergonómicos y cómodos, con áreas designadas para pasajeros con movilidad reducida y asientos prioritarios

Espacios para equipaje y bicicletas

Suelos antideslizantes y pasamanos para la seguridad de los pasajeros

#### **8.1.16 Exteriores y carrocería:**

Estructura y revestimiento de carrocería diseñados para ser livianos, resistentes y duraderos, utilizando materiales como aluminio o acero inoxidable

Diseño aerodinámico para reducir la resistencia al aire y mejorar la eficiencia energética

### 8.1.17 Acople y desacople de trenes:

Sistema de acople automático o semiautomático para unir y separar trenes de manera rápida y segura

Conexiones eléctricas y neumáticas entre vagones para la continuidad de los sistemas a bordo.

### 8.1.18 Sistemas de evacuación y emergencia:

Puertas y ventanas de emergencia para permitir una evacuación rápida en caso de un incidente.

Señalización de emergencia y sistemas de iluminación de baja altura para guiar a los pasajeros en situaciones de emergencia.

Martillos de emergencia para romper vidrios de seguridad de salidas de emergencia.

### 8.1.19 Accesibilidad:

Diseño interior que cumple con los requisitos de accesibilidad para personas con discapacidades visuales, auditivas y de movilidad

### 8.1.20 Sistema de gestión de mantenimiento:

Sistema integrado de gestión y monitoreo de mantenimiento para predecir y programar el mantenimiento del tren, mejorar la fiabilidad y reducir el tiempo de inactividad

### 8.1.21 Reducción de ruido y vibraciones:

Diseño y aislamiento acústico para minimizar el ruido y las vibraciones tanto para los pasajeros como para el entorno externo

Estas son solo algunas de las características técnicas y descripciones generales para los trenes de pasajeros propuesto para el Corredor Férreo del Sur. Cada característica y sistema puede ser personalizado y adaptado según las necesidades y requisitos detallados del proyecto.

## 9 ANÁLISIS OPERACIÓN DEL PROYECTO EN UN SOLO CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES INTEGRADO CON EL DE LAS DEMÁS LÍNEAS FÉRREAS DE LA CIUDAD

La integración de la operación del Corredor Férreo del Sur en un Centro de Control de Operaciones (CCO) único junto con las demás líneas férreas de la ciudad de Bogotá (PLMB y L2MB y Regiotram Occidente, Transmilenio, entre otros) podría ser una estrategia viable y efectiva para mejorar la eficiencia y la coordinación del sistema de transporte en su conjunto. Considerando que cada sistema de transporte masivo tendría una sala de control específica.

A continuación, se presenta un análisis de la operación de esta propuesta:

#### **Coordinación y eficiencia operativa:**

Al integrar todas las líneas férreas en un solo CCO, se facilita la coordinación y la seguridad entre los diferentes sistemas de transporte y se mejora la eficiencia operativa. Entre otras ventajas, esto puede incluir la sincronización de horarios, la optimización de rutas y la asignación de recursos, equipos y personal de operación y mantenimiento.

#### **Intercambio de información en tiempo real:**

El Centro de Control de Operaciones deberá efectuar tareas para la ejecución de la operación de la infraestructura de transporte ferroviario determinada, permitiendo intercambiar datos entre el puesto central y cualquier equipo de comunicación (tren/equipo de vía/personal de estación).

Se denomina Centro de Control de Operaciones (CCO) al conjunto de equipamiento que garantice la supervisión y gestión centralizada de todos los sistemas del Corredor Férreo del Sur.

Un CCO integrado permitiría el intercambio de información en tiempo real entre las distintas líneas férreas de la ciudad, lo que facilitaría la toma de decisiones y la atención inmediata de eventualidades en caso de incidentes o emergencias. También permitiría un monitoreo centralizado de la operación de todos los sistemas de transporte, incluida la supervisión de la ubicación y el estado de los trenes, la infraestructura y los sistemas de energía y comunicaciones.

#### **Gestión de incidentes y emergencias:**

En caso de incidentes o emergencias, un CCO integrado podría coordinar la atención inmediata y la respuesta de todas las líneas férreas para el suministro de recursos disponibles, lo que mejoraría la eficacia y la rapidez de las intervenciones. Además, permitiría una comunicación más fluida entre los diferentes sistemas de transporte y los servicios de emergencia externos, como la policía, los bomberos, los servicios médicos policia y demás recursos necesarios y/o requeridos.

#### **Integración tarifaria y de servicios:**

Un CCO único podría facilitar la integración tarifaria entre los diferentes sistemas de transporte ferroviario y otros sistemas de transporte, como Transmilenio. Esto permitiría a los usuarios realizar transbordos de forma más rápida, sencilla y eficiente, lo que mejoraría la experiencia de los pasajeros y promovería el uso del transporte público.

#### **Capacitación y desarrollo del personal:**

La integración de los Centros de Control de Operaciones de los diferentes sistemas de transporte ferroviario facilitaría la capacitación y el desarrollo del personal, ya que los empleados podrían recibir formación y apoyo en todas las áreas del sistema de transporte. Esto podría mejorar la calidad del servicio y la eficiencia operativa al contar con personal capacitado y flexible.

#### **Economía de escala y reducción de costos:**

La operación de un único CCO para todos los sistemas de transporte ferroviario de la Bogotá Región, podría generar economías de escala y reducir los costos asociados a la infraestructura, el personal y la tecnología. La centralización de la gestión y el

mantenimiento podría mejorar la eficiencia y reducir los gastos operativos en comparación con la gestión aislada de cada sistema ferroviario.

Sin embargo, también es importante considerar los desafíos que podría generar la integración de las operaciones en un solo CCO, como la necesidad de una infraestructura y tecnología adecuada, la coordinación entre las distintas entidades y la adaptación de los empleados y la organización a un nuevo modelo de operación.

Algunos aspectos adicionales para considerar incluyen:

#### **Interoperabilidad de sistemas y tecnologías:**

La integración de los Centros de Control de Operaciones de los diferentes sistemas de transporte en un CCO requerirá la compatibilidad e interoperabilidad de los sistemas y tecnologías utilizados en los diferentes sistemas de transporte férreo. Esto puede incluir sistemas de control de trenes, comunicaciones, señalización y seguridad, entre otros. La inversión en tecnologías y soluciones que permitan la integración y el intercambio de información entre los sistemas de transporte ferroviario será esencial para garantizar una operación eficiente y coordinada.

#### **Cambio organizacional y adaptación del personal:**

La integración de las operaciones ferroviarias en un único CCO también puede generar retos en términos de cambio organizacional y adaptación del personal. Será necesario un enfoque proactivo de gestión del cambio, para garantizar que los empleados asimilen y se adapten a las nuevas responsabilidades y estructuras organizacionales, así como para fomentar una cultura de colaboración y cooperación entre los diferentes sistemas de transporte ferroviario, incluyendo los sistemas de transporte vehicular.

#### **Gestión de la demanda y la capacidad:**

Un CCO integrado deberá ser capaz de gestionar la demanda y la capacidad de los diferentes sistemas de transporte ferroviario, en función de las necesidades y fluctuaciones específicas de cada sistema ferroviario y de cada período del día. Esto puede incluir la optimización del uso de los recursos disponibles, como los equipos, los trenes y el personal, así como la adecuación de los horarios y la oferta de servicios de transporte para garantizar un funcionamiento eficiente y equilibrado del sistema de transporte en su conjunto.

En general, la propuesta de integrar las operaciones del Corredor Férreo del Sur en un único Centro de Control de Operaciones con los demás sistemas de transporte ferroviario de la ciudad podría ofrecer importantes beneficios en términos de eficiencia, coordinación y gestión del sistema de transporte. Sin embargo, es importante abordar los retos asociados y garantizar que se cuente con la infraestructura, la tecnología y con el personal, adecuados para llevar a cabo esta integración de manera efectiva.

En ese orden de ideas, se pueden presentar algunos de los principales retos asociados, que incluyen:

#### **Infraestructura y tecnología adecuadas:**

Garantizar que la infraestructura y la tecnología del CCO integrado sean capaces de soportar y coordinar eficientemente las operaciones de todos los sistemas de transporte ferroviario. La interoperabilidad de los sistemas y tecnologías utilizados en las diferentes líneas puede ser un desafío significativo para abordar.

**Coordinación entre entidades:**

La integración de las operaciones puede requerir una estrecha colaboración y coordinación entre las diferentes entidades responsables de cada sistema ferroviario. Esto puede incluir la coordinación de políticas, la toma de decisiones y la gestión de recursos compartidos.

**Cambio organizacional y adaptación del personal:**

La transición a un modelo de operación integrado puede requerir cambios organizacionales y la adaptación del personal a nuevas responsabilidades y estructuras. La gestión del cambio y la capacitación adecuada del personal serán cruciales para garantizar una transición exitosa.

**Seguridad y confidencialidad de la información:**

La integración de los sistemas de control y comunicación de las diferentes líneas férreas puede plantear preocupaciones de seguridad y confidencialidad de la información. Será necesario implementar medidas de seguridad y protocolos de privacidad para proteger los datos y garantizar la seguridad de las operaciones.

**Gestión de incidentes y emergencias:**

La integración de las operaciones en un único CCO puede requerir la implementación de nuevos protocolos y procedimientos para gestionar incidentes y emergencias de manera efectiva en todo el sistema de transporte.

**Financiamiento y recursos:**

La implementación de un CCO integrado puede requerir inversiones significativas en infraestructura, tecnología y personal. Asegurar el financiamiento y los recursos necesarios para llevar a cabo la integración puede ser un desafío importante.

**Gestión de la demanda y capacidad:**

La coordinación de la demanda y la capacidad de los diferentes sistemas de transporte ferroviario, en función de las necesidades y fluctuaciones específicas de cada sistema de transporte ferroviario puede ser un desafío. Será necesario optimizar el uso de los recursos disponibles y adaptar los horarios y la oferta de servicios para garantizar un funcionamiento eficiente y equilibrado del sistema de transporte en su conjunto.

**Integración tarifaria y de servicios:**

La implementación de una integración tarifaria y de servicios entre los diferentes sistemas de transporte ferroviario y de otros sistemas de transporte puede generar complicaciones en términos de coordinación y logística.

**Compatibilidad y adaptabilidad de las normativas y regulaciones:**

Hay que asegurar que las normativas y regulaciones aplicables a los diferentes sistemas de transporte ferroviario sean compatibles y adaptables al nuevo modelo de operación integrado, lo cual puede ser un desafío importante para abordar.

Al afrontar estos desafíos de manera efectiva, se puede mejorar la viabilidad y el éxito de la integración de las operaciones del Corredor Férreo del Sur en un único Centro de Control de Operaciones junto con los demás sistemas de transporte ferroviario de la Bogotá Región.

## 9.1 RETOS O INCONVENIENTES

La integración de los Centros de Control de Operaciones (CCO) de los diferentes sistemas de transporte masivo de pasajeros en un único CCO puede generar complicaciones e inconvenientes, especialmente en el caso de proyectos de construcción que ya están avanzados en relación con el Corredor Férreo del Sur. La unificación de los CCO implicaría la necesidad de establecer especificaciones y diseños comunes que permitan una coordinación eficiente y efectiva entre los sistemas de transporte ferroviario.

Antes de decidir integrar los CCO de los diferentes sistemas de transporte, es crucial llevar a cabo un análisis de factibilidad técnica y económica. Este análisis debe considerar los costos asociados con la adaptación de los proyectos en construcción, así como los beneficios potenciales de la integración en términos de eficiencia operacional y calidad del servicio.

Debido al desfase de tiempo en la construcción, serán los proyectos iniciales los que deben tener en cuenta esta integración y prever las recomendaciones manifestadas en este documento.

## 10 RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO EN FUTURAS ETAPAS

Para el desarrollo exitoso del proyecto del Corredor Férreo del Sur en futuras etapas, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Geometría de vía y trazado: Asegurar que el trazado y la geometría de la vía se diseñen de manera óptima, considerando factores como la velocidad de operación, la topografía, los radios de curvatura y las pendientes, para garantizar la seguridad y la eficiencia del sistema.
- Materiales y técnicas de construcción: Utilizar materiales de alta calidad y técnicas de construcción avanzadas para garantizar la durabilidad y la vida útil del sistema ferroviario, así como reducir el mantenimiento y los costos operativos.
- Diseño y construcción de túneles: Considerar las condiciones geotécnicas y geológicas al diseñar y construir los túneles para garantizar la estabilidad y la seguridad de las estructuras a lo largo del tiempo.
- Señalización y control de tráfico: Implementar sistemas de señalización y control de tráfico avanzados y seguros, que permitan la operación eficiente del sistema ferroviario y la prevención de incidentes.
- Diseño de estaciones: Asegurar que el diseño de las estaciones sea funcional, estéticamente agradable y accesible para todos los usuarios, incluyendo a aquellos con discapacidades. Además, considerar la integración de las estaciones con otros modos de transporte y la infraestructura circundante.

- **Sistemas de alimentación eléctrica:** Diseñar e implementar sistemas de alimentación eléctrica eficientes y confiables, considerando factores como la capacidad, la tensión y la distribución de la energía.
- **Mantenimiento de la vía:** Establecer programas de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar la integridad y la seguridad de la vía y reducir el riesgo de incidentes y fallas en el sistema ferroviario.
- **Sistema de comunicaciones:** Implementar sistemas de comunicación robustos y confiables para garantizar una comunicación efectiva entre los trenes, las estaciones y el centro de control de operaciones.
- **Diseño de cruces y enlaces:** Diseñar cruces y enlaces de manera eficiente y segura, considerando aspectos como la comunicación la señalización, la visibilidad, la velocidad de los trenes y la interacción con otros modos de transporte.
- **Mitigación de ruido y vibraciones:** Implementar medidas de mitigación de ruido y vibraciones en el diseño y en la construcción del sistema ferroviario para minimizar el impacto en las comunidades circundantes y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales.
- **Evaluación de la capacidad y demanda:** Realizar evaluaciones periódicas de la capacidad y demanda del sistema ferroviario para garantizar que se satisfagan las necesidades de transporte de la población y se planifiquen futuras expansiones o mejoras de manera adecuada.
- **Estudios geotécnicos y ambientales:** Realizar estudios geotécnicos y ambientales exhaustivos durante la fase de diseño y planificación para garantizar la estabilidad del terreno y minimizar el impacto ambiental del proyecto.

En cuanto a la integración con los sistemas de transporte existentes en la ciudad se mencionan las siguientes recomendaciones:

- **Integración con sistemas de transporte existentes:** Asegurar una interconexión eficiente entre el Corredor Férreo del Sur y otros sistemas de transporte en la ciudad, como el Transmilenio, la PLMB, L2MB, Regiotram Occidente y Regiotram del Norte, para facilitar el flujo de pasajeros y mejorar la movilidad urbana.
- **Diseño de estaciones multimodales:** Planificar y diseñar estaciones multimodales que permitan a los usuarios intercambiar fácilmente entre diferentes modos de transporte, como autobuses, bicicletas y vehículos privados, para una experiencia de viaje más cómoda y eficiente.
- **Implementación de un sistema de pago unificado:** Desarrollar un sistema de pago unificado e integrado que permita a los pasajeros utilizar un único medio de pago para acceder a todos los sistemas de transporte en la ciudad, mejorando la experiencia del usuario y simplificando la recaudación de las tarifas.

- Coordinación entre agencias y operadores: Establecer mecanismos de coordinación y cooperación entre las diferentes agencias y operadores de transporte de la ciudad, para garantizar una planificación y operación eficiente y unificada de los sistemas de transporte.
  - Establecimiento de corredores peatonales y ciclorrutas: Diseñar e implementar corredores peatonales y ciclorrutas que conecten las estaciones del Corredor Férreo del Sur con otros puntos de interés de la ciudad, fomentando el uso de modos de transporte sostenibles y no motorizados.
  - Monitoreo y actualización de tecnologías: Garantizar la implementación y aplicación de las últimas tecnologías y soluciones en el ámbito del transporte ferroviario, e implementar actualizaciones y mejoras cuando sea necesario, para garantizar que el sistema siga siendo eficiente, seguro y competitivo.
  - Capacitación y desarrollo de recursos humanos: Promover la capacitación y el desarrollo de los recursos humanos que trabajan en el proyecto y su operación, para asegurar un conocimiento sólido de las prácticas y tecnologías ferroviarias y garantizar la eficiencia y seguridad del sistema.
  - Planificación y ejecución de proyectos de expansión: Implementar la realización de estudios de factibilidad y planificación para futuras expansiones del Corredor Férreo del Sur, así como la coordinación de proyectos de expansión con otros sistemas de transporte de la ciudad, para garantizar una red de transporte integrada y sostenible.
- Adaptación al cambio climático: Incorporar medidas de adaptación al cambio climático en el diseño y operación del sistema ferroviario (matriz de riesgos), considerando factores como la variabilidad climática, las inundaciones, los deslizamientos de tierra y otros riesgos relacionados con el clima.
- Estas recomendaciones enfocadas hacia la integración e interoperabilidad del Corredor Férreo del Sur con otros proyectos de la ciudad pueden mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema, asegurando un transporte público de calidad y accesible para todos los ciudadanos.

Para promover la interoperabilidad entre sistemas férreos se mencionan las siguientes recomendaciones:

- Diseño de interfaces de comunicación: Implementar interfaces de comunicación estandarizadas y abiertas entre los diferentes sistemas de transporte ferroviarios, lo que permitirá una mejor integración y coordinación entre ellos y facilitará el intercambio de información en tiempo real.
- Protocolos comunes de operación: Establecer protocolos comunes de operación y compartidos entre los diferentes sistemas ferroviarios, lo que garantizará una operación más homogénea y coherente, y facilitará la transferencia de pasajeros entre sistemas.

- Señalización y sistemas de control compatibles: Asegurar la compatibilidad de los sistemas de señalización y control de tráfico ferroviario entre los diferentes sistemas ferroviarios, lo que permitirá una operación más segura y eficiente en las áreas donde las líneas se interconectan.
- Compatibilidad de material rodante: Si es posible, seleccionar material rodante compatible y de características similares para los diferentes sistemas ferroviarios, lo que permitirá una mayor flexibilidad en la utilización y mantenimiento de los trenes, así como una mejor gestión de los recursos.
- Trocha: Utilizar una trocha estándar, como la trocha de 1.435 mm, en todos los sistemas ferroviarios garantizará que los trenes puedan circular sin problemas entre las diferentes líneas y sistemas.
- Tipo de riel: Utilizar un tipo de riel común, como el riel de acero de alta calidad, en todos los sistemas de transporte ferroviario garantizará la compatibilidad entre las líneas y permitirá un mejor mantenimiento y gestión de las vías férreas.
- Alimentación de energía: Adoptar un sistema de alimentación eléctrica común, como la catenaria rígida con una tensión de 1.500 Vcc, permitirá que el material rodante de diferentes sistemas sea compatible en términos de suministro de energía.
- Estaciones de transferencia: Diseñar y construir estaciones de transferencia comunes entre los diferentes sistemas de transporte ferroviario permitirá un fácil tránsito entre las líneas y mejorará la experiencia de los pasajeros.
- Coordinación en la gestión de emergencias: Establecer protocolos y mecanismos de coordinación para la gestión de emergencias entre los diferentes sistemas ferroviarios, lo que permitirá una respuesta más rápida y eficaz, en caso de incidentes o accidentes que afecten a múltiples sistemas de transporte.
- Establecimiento de un organismo de coordinación: Crear un organismo centralizado o una entidad encargada de la coordinación de todos los sistemas ferroviarios de la ciudad, con el objetivo de garantizar la interoperabilidad y la integración, así como la optimización de los recursos y la operación de los sistemas.
- Integración en la planificación urbana: Incorporar la interoperabilidad de los sistemas de transporte ferroviario en la planificación urbana a largo plazo, lo que permitirá una mejor y mayor adaptación a las necesidades de transporte futuras y garantizará una red de transporte público eficiente y sostenible.
- Capacitación cruzada del personal: Fomentar la capacitación cruzada del personal que trabaja en los diferentes sistemas ferroviarios, lo que permitirá un mejor entendimiento de los sistemas y facilitará la cooperación y el intercambio de conocimientos entre las diferentes entidades.

- Promover la investigación y el desarrollo: Estimular la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones que permitan mejorar la interoperabilidad y la integración entre los diferentes sistemas de transporte ferroviario, lo que contribuirá a una mayor eficiencia y sostenibilidad del transporte público de pasajeros.

Al adoptar estos elementos comunes y similares en todos los sistemas de transporte ferroviario, se facilitará la interoperabilidad entre ellos, lo que conducirá a una mayor eficiencia, facilidad de uso y una mejor experiencia de transporte para los pasajeros.

Adicionalmente se recomienda considerar los siguientes aspectos:

**Planificación y coordinación:** Establecer una planificación detallada y una coordinación efectiva entre todas las partes involucradas en el proyecto, incluyendo entidades gubernamentales, operadores de transporte, contratistas y otros actores relevantes.

**Evaluación y mitigación de riesgos:** Identificar y evaluar los riesgos potenciales asociados con el proyecto y desarrollar planes de mitigación para abordarlos de manera proactiva.

**Financiamiento y gestión de recursos:** Asegurar el financiamiento adecuado y una gestión eficiente de los recursos para llevar a cabo el proyecto. Esto incluye la identificación de fuentes de financiamiento, la asignación de recursos y la implementación de estrategias de control de costos.

**Diseño e ingeniería:** Asegurar que el diseño del proyecto sea sólido y cumpla con los estándares técnicos y de seguridad requeridos. Además, garantizar que la ingeniería y la construcción del proyecto sean realizadas por profesionales experimentados y calificados.

**Integración y compatibilidad de sistemas:** Garantizar la compatibilidad e integración de los diferentes sistemas y tecnologías que se utilizarán en el proyecto, incluidos los sistemas de control, comunicación, señalización y seguridad.

**Capacitación y desarrollo del personal:** Implementar programas de capacitación y desarrollo para el personal involucrado en la operación y el mantenimiento del proyecto, incluidos los empleados del Centro de Control de Operaciones, los operadores de trenes, el personal de mantenimiento y otros trabajadores clave.

**Comunicación y participación de la comunidad:** Establecer una estrategia de comunicación efectiva para mantener informados a los residentes y otros actores interesados sobre el progreso y los impactos del proyecto. Además, fomentar la participación de la comunidad en la toma de decisiones relacionadas con el proyecto.

**Medio ambiente y sostenibilidad:** Considerar las implicaciones ambientales y la sostenibilidad del proyecto en todas las etapas, incluida la selección de materiales y tecnologías ecológicas, la implementación de medidas de conservación de energía y la reducción de emisiones.

**Monitoreo y evaluación:** Implementar un sistema de monitoreo y evaluación para supervisar el progreso del proyecto y garantizar que se cumplan los objetivos y metas establecidos. Esto incluye la recopilación de datos, el análisis del desempeño y la identificación de áreas de mejora.

**Flexibilidad y adaptabilidad:** Diseñar el proyecto de manera que pueda adaptarse a cambios futuros en la demanda de transporte, en las tecnologías y en las condiciones del mercado. Esto incluye la consideración de futuras expansiones, la adaptabilidad a nuevas tecnologías y la capacidad de abordar imprevistos.

**Gestión del cambio:** Desarrollar un enfoque estructurado para gestionar los cambios en el proyecto, incluidos los cambios en el alcance, los plazos y los recursos. Esto permitirá una mayor adaptabilidad y reducirá el impacto de los cambios no planificados.

**Alianzas estratégicas:** Establecer alianzas estratégicas con otros operadores de transporte, proveedores de tecnología y otras partes interesadas clave para impulsar la innovación, mejorar la eficiencia y compartir conocimientos y mejores prácticas.

**Planificación de la movilidad urbana:** Integrar el proyecto del Corredor Férreo del Sur en el plan general de movilidad urbana de la ciudad, garantizando una planificación holística del transporte público y privado, y promoviendo la intermodalidad y la accesibilidad.

**Seguridad y prevención de incidentes:** Implementar medidas de seguridad y prevención de incidentes en todas las etapas del proyecto, incluida la construcción, la operación y el mantenimiento, para garantizar la seguridad de los pasajeros, de los empleados y de las comunidades circundantes.

**Diseño centrado en el usuario:** Asegurar que el diseño del proyecto tenga en cuenta las necesidades y preferencias de los usuarios, incluida la accesibilidad para personas con movilidad reducida, por alguna discapacidad, el diseño de las estaciones y la información al usuario.

**Gestión de la calidad:** Implementar un sistema de gestión de la calidad, para garantizar los diseños de un proyecto de alta calidad que cumpla con las expectativas de los usuarios y las partes interesadas.

**Investigación y desarrollo:** Fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del proyecto, así como para abordar los desafíos emergentes en el campo del transporte ferroviario.

**Evaluación de impacto social y económico:** Realizar evaluaciones periódicas del impacto social y económico del proyecto, incluidos los beneficios en términos de empleo, desarrollo económico y mejora de la calidad de vida.

**Responsabilidad social corporativa:** Asegurar que el proyecto se desarrolle de manera socialmente responsable, abordando las preocupaciones de las comunidades afectadas y promoviendo prácticas empresariales éticas y sostenibles.

**Gobernanza y transparencia:** Establecer estructuras de gobernanza sólidas y mecanismos de transparencia para garantizar la integridad y la responsabilidad en la gestión y ejecución del proyecto.

Al considerar estas recomendaciones adicionales, se puede mejorar, aún más, en el desarrollo del proyecto del Corredor Férreo del Sur y asegurar que se convierta en un sistema de transporte de pasajeros eficiente, sostenible y bien integrado en la infraestructura de transporte de la Bogotá Región.

## 11 RECOMENDACIONES PARA LA PARTICIPACIÓN DE UN EVALUADOR INDEPENDIENTE DE LA SEGURIDAD (EIS/ISA)

Para lograr este objetivo en condiciones óptimas se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:

- Identificar las etapas críticas del proyecto en las que la participación del EIS/ISA es esencial para garantizar la seguridad y el cumplimiento de los estándares aplicables. Sin embargo, es importante y necesario que el evaluador independiente este presente durante todo el ciclo de vida del proyecto.
- Definir el alcance y las responsabilidades del EIS/ISA en cada etapa del proyecto, asegurando que su participación sea efectiva y contribuya a la optimización de la seguridad y la calidad del proyecto.
- Establecer un marco de trabajo y comunicación entre el equipo del proyecto y el EIS/ISA, promoviendo una colaboración eficiente y una revisión constante de los aspectos de seguridad.
- Desarrollar una metodología para la evaluación y seguimiento de los riesgos asociados a la seguridad durante todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta la puesta en servicio.
- Identificar las normas y regulaciones de seguridad aplicables al proyecto, tanto a nivel nacional como internacional, y asegurar que el EIS/ISA tenga un conocimiento profundo de estos requerimientos para llevar a cabo sus evaluaciones de manera efectiva. Para el cumplimiento de lo anterior, la entidad contratada como evaluador independiente deberá estar autorizado y acreditado por una entidad de acreditación, para la realización de Evaluación independiente de seguridad (ISA) de proyectos de aplicaciones ferroviarias basada en la normativa CENELEC en cada uno de los subsistemas (por ejemplo, señalización, material rodante, energía, infraestructura, etc.) implementados en este nuevo sistema Metro pesado.
- Los Servicios Independientes de Evaluación de la Seguridad (certificación ISA) se deben de realizar siguiendo los principios y procesos descritos en la normativa de regulación ferroviaria desarrollada por el organismo de normalización europeo CENELEC. Dicha normativa está conformada por las normas CENELEC EN-50126, EN-50128 y EN-50129.
- Establecer un plan de trabajo detallado para la intervención del EIS/ISA en el proyecto, incluyendo hitos, entregables y plazos, garantizando que las recomendaciones y evaluaciones de seguridad se realicen de manera oportuna y se integren adecuadamente al desarrollo del proyecto.
- Fomentar la capacitación y actualización del EIS/ISA en tecnologías y metodologías emergentes relacionadas con la seguridad en sistemas ferroviarios, con el fin de mantener un enfoque proactivo en la identificación y mitigación de riesgos.
- Integrar la perspectiva del EIS/ISA en las decisiones de diseño y operación del proyecto, asegurando que las recomendaciones de seguridad sean consideradas y aplicadas de manera adecuada y efectiva.
- Establecer un sistema de seguimiento y control para evaluar el cumplimiento de las recomendaciones de seguridad proporcionadas por el EIS/ISA y garantizar la correcta implementación de las acciones correctivas y preventivas necesarias.
- Preparar y presentar informes periódicos sobre el avance y el cumplimiento de las recomendaciones de seguridad, proporcionando retroalimentación al equipo

del proyecto y a las partes interesadas para garantizar la transparencia y la responsabilidad en la gestión de la seguridad.

Al cumplir con estas actividades, se garantizará una adecuada implementación de las recomendaciones técnicas para el desarrollo del proyecto en futuras etapas, asegurando la integridad y la seguridad del sistema ferroviario. La participación de un Evaluador Independiente de la Seguridad (EIS/ISA) desde el diseño de detalle hasta la puesta en servicio del proyecto permitirá identificar y abordar de manera eficiente los riesgos y desafíos asociados con la seguridad en sistemas ferroviarios, mejorando la calidad y la confiabilidad del proyecto a largo plazo.

### 11.1 ETAPAS DE EVALUACIÓN DEL ENTE EVALUADOR INDEPENDIENTE DE LA SEGURIDAD

De las etapas de evaluación de un EIS/ISA se incluyen:

**Diseño de detalle:** Durante la fase de diseño de detalle, el EIS/ISA debe revisar y validar los diseños técnicos, garantizando que se consideren los aspectos de seguridad y que cumplan con los estándares aplicables.

**Evaluación de riesgos:** El EIS/ISA debe estar involucrado en la identificación y evaluación de riesgos asociados con el proyecto, incluyendo riesgos operacionales, técnicos y de seguridad, para garantizar la implementación de medidas de mitigación adecuadas.

**Selección y adquisición de componentes y sistemas:** El EIS/ISA debe participar en la evaluación y selección de componentes y sistemas críticos para la seguridad, asegurando que cumplan con los estándares de seguridad y calidad.

**Construcción e instalación:** Durante la fase de construcción e instalación, el EIS/ISA debe supervisar y garantizar que se sigan las prácticas de seguridad y los estándares aplicables, identificando y abordando posibles riesgos.

**Pruebas y validación:** El EIS/ISA debe estar presente durante las pruebas y validación de los sistemas y componentes críticos de seguridad, garantizando que funcionen de acuerdo con los requisitos de seguridad y desempeño establecidos.

**Capacitación del personal:** El EIS/ISA debe supervisar y validar la capacitación del personal en relación con la seguridad y operación del sistema ferroviario, asegurando que cuenten con el conocimiento y habilidades necesarias para gestionar situaciones de emergencia y garantizar la seguridad de los usuarios y empleados.

**Certificación de seguridad:** El EIS/ISA debe verificar y certificar que todos los sistemas y componentes del proyecto cumplen con los estándares de seguridad aplicables antes de la puesta en servicio.

**Puesta en servicio:** Durante la fase de puesta en servicio, el EIS/ISA debe supervisar y evaluar el desempeño de los sistemas y componentes críticos de seguridad en condiciones reales de operación, garantizando que se cumplan los requisitos de seguridad.

**Auditorías y revisiones de seguridad periódicas:** El EIS/ISA debe participar en auditorías y revisiones de seguridad periódicas durante la vida útil del proyecto, garantizando la identificación y corrección de problemas de seguridad y el cumplimiento continuo de los estándares aplicables.

**Supervisión de la calidad:** El EIS/ISA será responsable de supervisar la calidad de los trabajos realizados por los contratistas durante el diseño, construcción y operación del corredor. Esta actividad incluye la revisión de diseños, pruebas de materiales, inspecciones en sitio, entre otras actividades.

**Evaluación de cumplimiento normativo:** El EIS/ISA será responsable de garantizar que el proyecto cumpla con todas las regulaciones y leyes aplicables en el ámbito de la seguridad y medio ambiente. Esta actividad incluye la evaluación del impacto ambiental del proyecto, cumplimiento de normas técnicas, entre otros.

**Revisión y aprobación de documentos:** El EIS/ISA revisará y aprobará los documentos entregados por los contratistas, como los diseños, estudios, informes, planes de seguridad, entre otros.

## 11.2 DEFINICIÓN DEL ALCANCE Y RESPONSABILIDADES DEL EIS/ISA

Para definir el alcance y las responsabilidades del EIS/ISA en cada etapa del proyecto, es importante establecer claramente sus funciones y objetivos en cada fase. Esto garantizará que su participación sea efectiva y contribuya a la optimización de la seguridad y la calidad del proyecto.

Entre sus responsabilidades se encuentran:

**Revisión de los diseños técnicos y documentos de seguridad:** El EIS/ISA debe revisar minuciosamente los diseños técnicos, considerando los aspectos de seguridad en todas las áreas del proyecto. Esto incluye la revisión de las especificaciones de los sistemas de control, señalización, comunicación, protección contra incendios, sistemas de evacuación y otros elementos críticos para la seguridad.

**Verificación del cumplimiento de estándares:** El EIS/ISA debe asegurarse de que los diseños cumplan con los estándares de seguridad aplicables, como las normativas locales, nacionales e internacionales, así como los estándares específicos de la industria ferroviaria. Esto garantiza que el proyecto esté diseñado de acuerdo con las mejores prácticas y requisitos de seguridad.

**Identificación de amenazas y posibles problemas de seguridad:** El EIS/ISA debe identificar posibles problemas de seguridad en los diseños y proponer soluciones para abordarlos. Esto puede incluir la modificación de componentes, la incorporación de redundancias o la implementación de sistemas de monitoreo y alerta adicionales.

**Recomendaciones de mejoras en el diseño:** El EIS/ISA debe proporcionar recomendaciones para optimizar la seguridad en el diseño, basadas en su experiencia y conocimiento de las mejores prácticas y estándares de la industria. Estas recomendaciones pueden incluir la adopción de tecnologías más avanzadas, la implementación de medidas de mitigación de riesgos adicionales o la mejora de la ergonomía y la accesibilidad para los usuarios y el personal.

**Coordinación con otros equipos y especialistas:** El EIS/ISA debe trabajar en estrecha colaboración con los equipos de diseño, ingeniería y gestión de proyectos, así como con otros especialistas en seguridad, para garantizar que las consideraciones de seguridad estén completamente integradas en el diseño. Esta coordinación permite una comunicación efectiva y la identificación temprana de problemas de seguridad potenciales.

**Aprobación del diseño:** Una vez que el EIS/ISA haya revisado y verificado que los diseños cumplen con los aspectos de seguridad y los estándares aplicables, y se hayan implementado sus recomendaciones, debe aprobar el diseño de detalle para que el proyecto pueda avanzar a la siguiente etapa.

**Auditorías y visitas in-situ:** La entidad deberá realizar auditorías a todas las disciplinas o áreas con el objeto de evaluar el proceso de gestión de seguridad conforme a las normas CENELEC. Durante las Auditorías, se analizará toda la documentación correspondiente a la Seguridad de todos los Sistemas de Especialidad, y durante todo el Ciclo de vida del Proyecto. En cada materia del análisis, se clasificarán los hallazgos para su atención, de forma que se conozca la situación completa del cumplimiento de la seguridad.

**Auditorías Fabricación Sistemas:** Se deben llevar a cabo auditorías durante el proceso de fabricación de los Sistemas de Especialidad, las cuales tendrán como objetivo evaluar las organizaciones de fabricación de los sistemas, para constatar el cumplimiento de la fabricación con los planes de seguridad y requisitos especificados mediante procedimientos sistemáticos, independientes y documentados con el fin de determinar en qué medida se cumplen los requisitos especificados.

**Pruebas y Puesta en Servicio:** La entidad verificará las actividades de pruebas y puesta en servicio de los sistemas con el fin de evidenciar la conformidad de las instalaciones y el cumplimiento de los requisitos funcionales, técnicos y safety.

La participación del EIS/ISA en la fase de diseño de detalle es fundamental para garantizar que el proyecto esté diseñado teniendo en cuenta la seguridad desde su inicio. Esto no solo ayuda a reducir los riesgos y mejorar la seguridad general del proyecto, sino que también puede resultar en ahorros de costos a largo plazo al abordar problemas de seguridad antes de que se conviertan en problemas.

### 11.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS ASOCIADOS AL EIS/ISA

La contratación de un Evaluador Independiente de la Seguridad (EIS) o Independent Safety Assessor (ISA) durante todo el ciclo de vida del proyecto del Corredor Férreo del Sur, es una inversión estratégica necesaria para garantizar la seguridad de los usuarios y la protección del medio ambiente. El EIS/ISA tendrá un papel crítico en el diseño de detalle y la construcción del proyecto, asegurando que los estándares de seguridad y calidad se cumplan en todas las fases del proyecto.

El costo del EIS/ISA se justifica en varios aspectos. En primer lugar, el evaluador independiente será responsable de evaluar y garantizar que el diseño cumpla con las normativas y regulaciones de seguridad, calidad y medio ambiente. Además, el EIS/ISA supervisará la ejecución de los trabajos, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas y de seguridad requeridas. La experiencia y conocimientos del evaluador también serán útiles para detectar cualquier posible riesgo y sugerir medidas preventivas y correctivas.

Por otro lado, el costo del EIS/ISA se amortizará en la reducción de los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo. Al garantizar que los estándares de calidad y seguridad se cumplan en todas las fases del proyecto, se minimizarán los riesgos de fallos y problemas en el futuro. En resumen, la inversión en un evaluador independiente es una medida responsable y necesaria para garantizar la seguridad y la calidad del proyecto del Corredor Férreo del Sur, lo que a su vez se traducirá en ahorros a largo plazo y en la protección del medio ambiente.

El costo total del EIS/ISA por mes es de 40.000 euros aproximadamente. Ahora bien, considerando que se estima que el EIS/ISA debe estar presente durante todo el ciclo de vida del proyecto del Corredor Férreo del Sur, desde la etapa de diseño hasta la construcción y puesta en servicio, teniendo en cuenta que el tiempo de determinado en cronograma para el diseño de detalle es de 18 meses y que el tiempo de construcción son 96 meses, se tiene una duración total del proyecto de 114 meses.

Para un proyecto de esta magnitud y complejidad, es esencial contar con un EIS/ISA que pueda asegurar la calidad y seguridad del proyecto. La presencia del EIS/ISA durante todo el ciclo de vida del proyecto implica una atención constante y una revisión exhaustiva de los procesos, diseño y construcción, lo que justifica su costo.

El costo del EIS/ISA también se justifica por el valor que aporta al proyecto. Su presencia garantiza que el proyecto cumpla con los estándares internacionales de seguridad, lo que a su vez reduce los riesgos de accidentes, daños ambientales y retrasos en la construcción. Esto a su vez puede generar beneficios económicos y sociales, ya que un proyecto de infraestructura seguro y bien construido puede mejorar la calidad de vida de las personas, facilitar el transporte y el comercio, y atraer inversiones al área.

## 12 CONCLUSIONES

ALCALDIA MAYOR  
BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano

Los prediseños de infraestructura y superestructura ferroviaria presentados para el Corredor Férreo del Sur cumplen con los requisitos técnicos y operacionales necesarios para el proyecto y su desarrollo para etapas futuras, abordando aspectos importantes como la selección de la alternativa más ideal para los elementos de vía, sistemas de señalización, comunicaciones, alimentación de energía eléctrica y otros componentes de la infraestructura ferroviaria.

En los actuales estudios de prefactibilidad, se ha establecido un sistema férreo subterráneo de tipo metro pesado. Por consiguiente, se recomienda llevar a cabo una evaluación en futuras etapas e inicio de proyectos colindantes al Corredor Férreo del Sur, permitiendo así la posibilidad de integración con sistemas similares al propuesto en la Bogotá-Región. Al compartir características técnicas, se facilitará la operación y el mantenimiento de estos sistemas.

Las instalaciones ferroviarias propuestas para los talleres de mantenimiento, nodos de terminación y estaciones, han sido prediseñadas teniendo en cuenta los estudios de demanda y condiciones operacionales específicas del Corredor Férreo del Sur, lo que garantiza una eficiente y adecuada operación del sistema.

La tipología del material rodante seleccionada es adecuada en función de las condiciones de operación, demanda prevista y compatibilidad con otros sistemas ferroviarios de la región, en especial con la Línea 2 del Metro de Bogotá, haciendo

coincidir características importantes, tales como, galibo del tren, tensión de alimentación, señalización, tipo de vía, entre otros, lo que contribuye a la optimización del funcionamiento y la integración del proyecto en el entorno ferroviario planificado y en proceso de implementación en la capital.

La propuesta de integración del sistema ferroviario aborda aspectos fundamentales como la supervisión y control, sistemas de alimentación de energía eléctrica, señalización, telecomunicaciones, peaje y control de acceso, entre otros, lo que garantiza una gestión eficiente y efectiva del Corredor Férreo del Sur.

La evaluación de la posibilidad de centralizar la operación del proyecto en un solo Centro de Control de Operaciones integrado con otras líneas férreas de la ciudad sugiere que esta opción puede optimizar la gestión y coordinación del sistema ferroviario regional, mejorando así la eficiencia y calidad del servicio. Por lo anterior, se recomienda revisar este aspecto en la siguiente etapa de factibilidad a través de mesas de trabajo con las entidades correspondiente, y con la revisión de información y documentación de diseño que estén establecidos en los demás sistemas ferroviarios de la ciudad.

Las recomendaciones técnicas establecidas para el desarrollo del proyecto en futuras etapas, incluyendo la participación de un Evaluador Independiente de la Seguridad (EIS/ISA) desde el diseño de detalle hasta la puesta en servicio del proyecto, proporcionan una base sólida para garantizar la seguridad, calidad y cumplimiento de los estándares aplicables en todo el proceso. Por lo tanto, se considera necesario el acompañamiento de dicha entidad independiente durante todo el ciclo de vida del proyecto, la cual deberá estar avalada por una entidad de acreditación para los subsistemas a implementar en este sistema ferroviario.

Los avances periódicos presentados a lo largo del proyecto según el cronograma establecido han permitido un seguimiento constante del progreso y evaluación de los resultados de los estudios de prefactibilidad, asegurando la calidad y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Finalmente, es necesario concluir que, los estudios de prefactibilidad del Corredor Férreo del Sur han abordado satisfactoriamente los aspectos técnicos, operacionales y de seguridad necesarios para el proyecto. Se ha logrado definir una propuesta sólida y viable que cumple con los objetivos y lineamientos generales establecidos. La implementación del Corredor Férreo del Sur en la modalidad ferroviaria permitirá mejorar significativamente la movilidad en la región Bogotá-Cundinamarca, así como optimizar la conexión con otros proyectos de transporte existentes y futuros.

Es fundamental seguir fomentando la comunicación y cooperación entre todas las partes involucradas, incluyendo autoridades, entidades y comunidades locales, para asegurar una implementación exitosa y sostenible del proyecto, y para que éste contribuya al desarrollo integral de la región Bogotá-Cundinamarca y al bienestar de sus habitantes.