



**CONSULTORÍA ESPECIALIZADA PARA LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL
PROYECTO REGIOTRAM DE OCCIDENTE:
CONTRATO DE CONSULTORIA No. 034 DE 2018**

Documento de Estructuración Técnica Proyecto Regiotram de Occidente

Bogotá, 25 de junio de 2019



TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES.....	11
2	INTRODUCCIÓN	12
3	DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	12
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.....	13
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL CORREDOR	14
3.2.1	Ramal al Metro	14
3.2.2	Corredor Principal	17
3.3	ESTUDIOS DE DEMANDA EN ETAPA DE FACTIBILIDAD	20
3.3.1	Variación de la demanda al largo del día	20
3.4	PLAN DE OPERACIÓN	20
3.4.1	Horarios y Servicios	20
3.4.2	Velocidades.....	21
3.4.3	Tiempos de Recorrido	22
3.4.4	Malla horaria	22
4	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	23
4.1	TOPOGRAFÍA.....	23
4.2	DISEÑO GEOMÉTRICO	23
4.2.1	Consideración generales	23
4.2.2	Trazado en planta	24
4.2.3	Trazado en alzado.....	24
4.2.4	Exigencias de seguridad y comodidad.....	24
4.2.5	Parámetros de diseño	25
4.2.6	Gálidos y Secciones Transversales	28
4.2.7	Anchos de plataforma en tramo recto	31
4.2.8	Secciones tipo en tramo recto	33

4.3	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS	35
4.3.1	Geología	36
4.3.2	Geotecnia	36
4.4	SUPERESTRUCTURA DE VÍA	40
4.4.1	Solución Adoptada	40
4.4.2	Diseño general de la superestructura de vía	41
4.4.3	Plataforma ferroviaria de vía en placa.....	42
4.4.4	Plataforma ferroviaria de vía en balasto	43
4.4.5	Plataforma ferroviaria de vía directamente sellada	48
4.4.6	Transiciones de tipo de estructura de vía	49
4.4.7	Sección por tramos	50
4.4.8	Aparatos de Vía	50
4.4.9	Dispositivos Especiales	51
4.5	HIDROLIGÍA Y DRENAJE	52
4.6	MATERIAL RODANTE	54
4.7	ANÁLISIS DE INTERSECCIONES	54
4.7.1	Cruces con Troncales de Transmilenio	55
4.7.2	Cruces a nivel.....	55
4.8	ESTRUCTURAS	58
4.8.1	Puente Vehicular Camino	60
4.9	ESTACIONES	61
4.10	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN	61
4.11	CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTACIONES	63
4.11.1	Descripción de las estaciones.....	63
4.11.2	Estación típica	65
4.11.3	Estación de La Calle 26	65

4.11.4	Acceso a las estaciones	68
4.12	RAMAL AL METRO	69
4.12.1	Localización	69
4.12.2	Descripción del Ramal Metro	69
4.12.3	Conexión con otros corredores de alta capacidad y modos complementarios	72
4.13	SISTEMA DE SEGURIDAD, SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DEL TREN	74
4.13.1	Criterios de diseño	74
4.13.2	Zonas de maniobras	76
4.13.3	Características, Arquitectura y requisitos técnicos	77
4.13.4	Arquitectura del sistema de señalización	77
4.13.5	Subsistema de Señalización de Enclavamiento	78
4.13.6	Arquitectura del sistema de protección de los cruces viarios	79
4.13.7	Sistema de puertas de anden	80
4.13.8	Alimentación	81
4.13.9	Los locales técnicos y bloques técnicos	81
4.14	SISTEMA DE SINALIZACION CONTROLADO DESDE EL PUESTO DE MANDO CENTRALIZADO (PMC)	82
4.15	SISTEMA DE COMUNICACIONES	82
4.15.1	Puesto de Mando Centralizado (PMC)	82
4.15.2	Configuración de Puesto de Mando Local (PML) en El CORZO	82
4.15.3	Red de comunicaciones fijas	83
4.15.4	Red integrada de servicios	84
4.15.5	Red secundaria servicios críticos	85
4.15.6	Redes de radiocomunicaciones	87
4.15.7	Sistema de ayuda a la explotación (SAE)	88
4.15.8	Sistema de Telefonía/Interfonía	90
4.15.9	Telefonía de explotación (selectiva)	92

4.15.10	Sistema de información al viajero (SIV)	93
4.15.11	Sistemas de Seguridad	94
4.15.12	Sistema de Cronometría.....	94
4.15.13	Securización	94
4.15.14	Sistema SCADA	94
4.16	CATENARIA Y SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	95
4.16.1	ACOMETIDAS ELECTRICAS	95
4.16.2	Subestaciones de Rectificación (SR's)	96
4.16.3	Ubicación de las SR's en el proyecto	97
4.16.4	Subestaciones de Alumbrado y Fuerza (SAF's)	97
4.16.5	Sistema de catenaria	98
4.17	COCHERAS Y TALLERES	100
4.17.1	Patio del PK5	101
4.17.2	Talleres de El Corzo	102
4.18	AFECCIONES A SERVICIOS	102
4.18.1	Redes Secas	102
4.18.2	Redes Húmedas	104
4.19	ESTUDIO AMBIENTAL Y SOCIAL.....	105
4.19.1	Instrumento ambiental actual	105
4.19.2	Pronunciamientos de la Autoridad Ambiental ANLA	108
4.19.1	Trámite ANLA	111
4.19.2	Información sobre la presencia de comunidades en el área de influencia del proyecto.....	111
4.20	AFECCIÓN SOCIO - PREDIAL	112
4.20.1	Definición del Polígono de Afectación Predial.....	112
4.20.2	Identificación de predios afectados por municipio	112
4.20.3	Identificación social de los predios afectados	113

4.20.4	Caracterización Social.....	114
4.20.5	Plan de Reasentamiento.....	115
4.20.6	Plan de Gestión.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto Regiotram	13
Figura 2. Trazado Ramal al Metro e Intersección PK0+900 Corredor Férreo Principal (Existente).....	15
Figura 3. Carrera 17 entre Calle 25 y Calle 22.....	16
Figura 4. Calle 22 entre Carrera 17 y Carrera 19.....	16
Figura 5. Carrera 19 entre Calle 22 y Diagonal 19^a	17
Figura 6 Empalme Ramal Metro Corredor Principal	17
Figura 7 Sección vial Av. Ferrocarril.....	18
Figura 8. Corredor Férreo Área Urbana	19
Figura 9 Corredor Férreo Área Suburbana.....	19
Figura 10. Gálibos en recta	28
Figura 11. Sección en placa Vía doble	33
Figura 12. Sección en Balasto Tramo Recto.....	34
Figura 13. Sección en balasto enmarcado. Vía doble.....	35
Figura 14. Sección tipo de vía de balasto clásico.....	47
Figura 15. Sección tipo de vía de balasto enmarcado.....	48
Figura 16. Transición placa – balasto.....	50
Figura 17. Alternativa propuesta para el cruce	51
Figura 18. Estructuras Regiotram	59
Figura 19. Ubicación Estaciones en Bogotá	61
Figura 20. Ubicación estaciones en la Sabana.....	62
Figura 21. Descripción de las estaciones.....	64
Figura 22. Planta estación típica	65
Figura 23. Perfil estación típica.....	65
Figura 24. Estación Calle 26.....	66
Figura 25. Ubicación Plan Parcial Estación Central.....	67

Figura 26. Planta estación calle 26	67
Figura 27. Perfil estación calle 26	68
Figura 28. Acceso a estaciones.	68
Figura 29. Localización Ramal Metro	69
Figura 30. Trazado Corredor férreo Ramal Metro	70
Figura 31. Trazado en planta Cr 19	71
Figura 32. Trazado en planta Eje central CI 22	71
Figura 33. Trazado en planta Eje central Cra 17	72
Figura 34 Localización de paraderos SITP en el área de influencia	73
Figura 35. Accesos Estación Calle 26.....	74
Figura 36. Arquitectura del Sistema Señalización	78
Figura 37. Esquema típico de paso a nivel (sin control de franqueo)	80
Figura 38. Arquitectura sistema de puertas de anden	81
Figura 39. Arquitectura Red de Comunicaciones Fijas e integración de redes	83
Figura 40. Configuración Comunicaciones Subestación Eléctrica y Estación.....	86
Figura 41. Arquitectura sistema SAE	89
Figura 42. Arquitectura elementos embarcados e intercambio de datos con el SAE	90
Figura 43. Arquitectura sistema SIV	93
Figura 44. Esquema de acometidas en Media Tensión.	95
Figura 45. Diagrama unifilar SAF.	98
Figura 46. Hipótesis de Dimensionamiento	100
Figura 47. Emplazamiento propuesto PK5 para los talleres y cocheras del corredor Occidente	101
Figura 48. Emplazamiento propuesto El Corzo para los talleres y cocheras del Regiotram de Occidente	102
Figura 49 Localización corredor férreo existente por tramos y expedientes.	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escenario Base Regiotram de Occidente	20
Tabla 2. Malla horaria periodo pico 2024	22
Tabla 3. Parámetros de diseño de trazado de la vía férrea	26
Tabla 4: Gálibos dinámicos envolvente en curva	29
Tabla 5. Gálibos	30
Tabla 6. Definición plataforma por tramo.....	31
Tabla 7. Resumen de piezoconos para caracterización complementaria de fundación de puentes.....	37
Tabla 8. Resumen de apiques para caracterización de intersecciones con el corredor férreo.	37
Tabla 9. Resumen de apiques para caracterización de corredor férreo	38
Tabla 10. Esquema y características del diseño de las cunetas	52
Tabla 11. Resumen obras de drenaje	53
Tabla 12: Localización de cruces	55
Tabla 13. Ubicación Estructuras	59
Tabla 14. Estaciones de Bogotá.....	61
Tabla 15. Estaciones de la Sabana	62
Tabla 16. Nodos de Acceso Red Integrada de Servicios Regiotram de Occidente	85
Tabla 17. Nodos de Acceso Red Integrada de Servicios Regiotram de Occidente	87
Tabla 18: Simulación de tracción.	96
Tabla 19. Ubicación de las Subestaciones de Rectificación (SR's) del Regiotram.	97
Tabla 20. Catenaria- condiciones de operación	99
Tabla 21. Distancias mínimas entre catenaria y vehículos	99
Tabla 22. Material Móvil	101
Tabla 23 Descripción de tramos y expedientes existentes	108
Tabla 24: Predios Afectados por municipio	113

Tabla 25: Predios y unidades sociales afectadas 113

1 ANTECEDENTES

El proyecto Regiotram de Occidente, (en adelante el “proyecto o Regiotram”); se concibió originalmente como un proyecto de infraestructura de transporte que se pretendía ejecutar a través de un contrato de concesión bajo el esquema de Asociación Público Privada de iniciativa privada. El originador de este Proyecto, a saber, la Estructura Plural Regiotram integrada por Torrescamara, Stadler y la constructora Conconcreto (en adelante el “Originador”), realizó, por su cuenta y riesgo, los estudios de pre-factibilidad y factibilidad en el año 2014. Dichos estudios fueron presentados para su aprobación a la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, quien, por razones económicas y de operación, no consideró viable la ejecución del proyecto propuesto y por ende rechazó la iniciativa.

Sin embargo, los estudios e insumos elaborados por el Originador se consideraron de interés para la función pública de acuerdo con el inciso tercero del artículo 16 de la ley 1508 de 2012 y fueron adquiridos por la entidad. Sobre la base de esos estudios y debido al interés del Gobierno Nacional en apostar por la multimodalidad de la infraestructura de transporte de pasajeros en la región, se decide volver a estructurar el Proyecto, ahora como una iniciativa pública, a través de la Empresa Férrea Regional (en adelante la “EFR”) como su ente gestor.

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos Por Un Nuevo País” aprobado mediante la Ley 1753 de 2015 (en adelante el “PND”) y el Plan de Desarrollo de Cundinamarca 2016-2020 “Unidos Podemos Más”, priorizan la intervención y modernización de la infraestructura férrea nacional en aras de apostarle al desarrollo de la movilidad en la capital del país. En el PND se prevé la posibilidad de emplear fuentes de financiación territoriales para garantizar la sostenibilidad de estos nuevos sistemas de transporte, por lo cual el Gobierno Nacional podría hacer inversiones en las etapas pre-operativas de los proyectos. A manera de continuación de la iniciativa expresamente citada en los Planes de Desarrollo, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (en adelante “CONPES”) mediante el Documento CONPES No. 3882 de 2017 y con el fin de solicitar al Gobierno Nacional el apoyo a la política de movilidad de la región capital Bogotá-Cundinamarca y la declaración de importancia estratégica del proyecto de extensión de TransMilenio hacia Soacha, fases II y III, valora diferentes alternativas de transporte, entre ellos, el Regiotram de Occidente. Así, en este documento el Departamento Nacional de Planeación describe el estado del Proyecto y los requisitos necesarios para acceder a la cofinanciación del Estado.

A este documento le sigue el Documento CONPES 3902 de 2017, en el cual se declara el Proyecto de importancia estratégica a partir de la validación por parte del Ministerio de Transporte en la que se confirma el cumplimiento de todos los requisitos necesarios. Adicionalmente, este documento recomienda “solicitar, dentro de sus competencias, al Ministerio de Transporte y al Ministerio de Hacienda y Crédito Público concurrir con la Gobernación de Cundinamarca y la Empresa Férrea Regional, para a la suscripción del convenio de cofinanciación”.

El 9 de noviembre de 2017 la Nación, el Departamento y la EFR suscribieron un convenio de cofinanciación en el cual se establecieron: (i) los montos que aportarán tanto la Nación como el Departamento, (ii) las vigencias fiscales en las cuales deberán efectuarse dichos aportes, y (iii) se designó a la EFR como ente gestor del Proyecto.

Posterior a lo anterior, la EFR por medio de la concurso de méritos abierto No. CMA-006-2018, adjudicó y suscribió el Contrato de Consultoría No. 034 del 2018 (en adelante, el “Contrato de Consultoría”) con la Unión Temporal EGIS – DELOITTE – DURÁN & OSORIO – SUMATORIA (en adelante, el “Consultor” o el “Estructurador”), el cual tiene como objeto la “CONSULTORÍA ESPECIALIZADA PARA LA

ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO REGIOTRAM DE OCCIDENTE, DE CONFORMIDAD CON LOS TÉRMINOS DADOS POR LA EMPRESA FERREA REGIONAL”.

Dentro del alcance de la Estructuración Técnica, se encuentra:

- Revisar los estudios y diseños existentes desarrollados por el originador, los cuales se encuentran en etapa de factibilidad (Concepto de la ANI), y determinar si los mismos requieren complementarse en algún componente.
- Elaborar un documento con las especificaciones técnicas de todos de los componentes de la obra civil con el fin de garantizar la integración y la operatividad de los elementos de la infraestructura con el material rodante de especificaciones promedio.
- Con base en el Estudio de demanda contratado por la EFR se validó el número de estaciones establecido originalmente, y se proponer nuevas estaciones si se identifican cifras de demanda no atendidas.
- Adelantar una evaluación multicriterio para identificar la mejor alternativa de trazado para el Ramal Metro, evaluando los componentes de operación, tránsito, ambiental, afectación predial, inserción urbana y desarrollar los estudios a nivel de factibilidad.
- Realizar el diagnóstico del estado de los instrumentos ambientales para el corredor existente y el Ramal Metro.
- Actualizar los insumos de la gestión Socio – Predial con la información secundaria existente y trabajo de campo, para elaborar el inventario predial y social de las unidades sociales que se vean afectadas por el proyecto.
- Validar los parámetros de operación existentes, los cuales se encuentran en etapa de factibilidad (Concepto de la ANI) y proponer los ajustes de acuerdo con las necesidades operacionales y de servicio del proyecto.

En desarrollo del contrato de estructuración y con el propósito de tener una mayor precisión en las definiciones del proyecto, así como la necesidad de actualizar los estudios realizados a nivel de factibilidad, se definió de manera conjunta con la Interventoría y la EFR, realizar estudios complementarios para las siguientes actividades:

- Simulaciones energéticas de media tensión y de tracción.
- Diseños de talleres, cocheras y equipos de mantenimiento.
- Optimización Diseño de Puentes.
- Diseños complementarios de geotecnia y pavimentos.
- Diseños complementarios de hidráulica, hidrología y socavación.
- Actualización del CAPEX

2 INTRODUCCIÓN

El presente informe resume el resultado de la estructuración técnica del proyecto de acuerdo con el alcance establecido en el contrato de estructuración y sus Anexos Técnicos 1 y 4.

3 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

La Estructuración técnica, una vez conocido y verificados los resultados del estudio de Demanda desarrollado por la EFR, cuya conclusión resultó en la necesidad de replantear la propuesta del originador según las condiciones actuales del proyecto, y replantear el proyecto por etapas de la siguiente forma:

Etapa Inicial:

- Escenario sin integración tarifaria con el SITP Bogotá.
- Eliminar las estaciones TV22 y Américas.
- Eliminar la Estación de Facatativá 2.
- Incorporar las Estaciones de Mosquera Carrera 5 Este, Madrid y Funza.
- Escenario sin el Ramal El Dorado 1.

Etapas posteriores:

- Integración tarifaria con el SITP Bogotá
- Extensión de la línea férrea hasta la Estación de Facatativá 2.
- Ramal El Dorado 1

En concordancia con lo anterior, el proyecto se definió en su etapa inicial con una longitud del trazado de 39.64 Km en vía doble de trocha estándar, de los cuales 25.04 km se encuentran en zona suburbana y 14.6 km en zona urbana. La construcción y operación de ocho (8) estaciones en zona suburbana y nueve (9) estaciones en la zona urbana de Bogotá.

El actual proyecto Regiotram de Occidente inicia con una estación de pasajeros ubicada en la plazuela la Luz, la Carrera 17 con Calle 25 (K0+000), lugar donde según el plan parcial Estación Central, se destinará como zona de integración del Regiotram con la Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB y Transmilenio. Desde este punto, el tramo de corredor conocido como Ramal Metro discurre por el barrio Santafé, en la localidad de los Mártires, donde luego de 994m de longitud, se empalma con el diseño del originador en el PK 1+053.

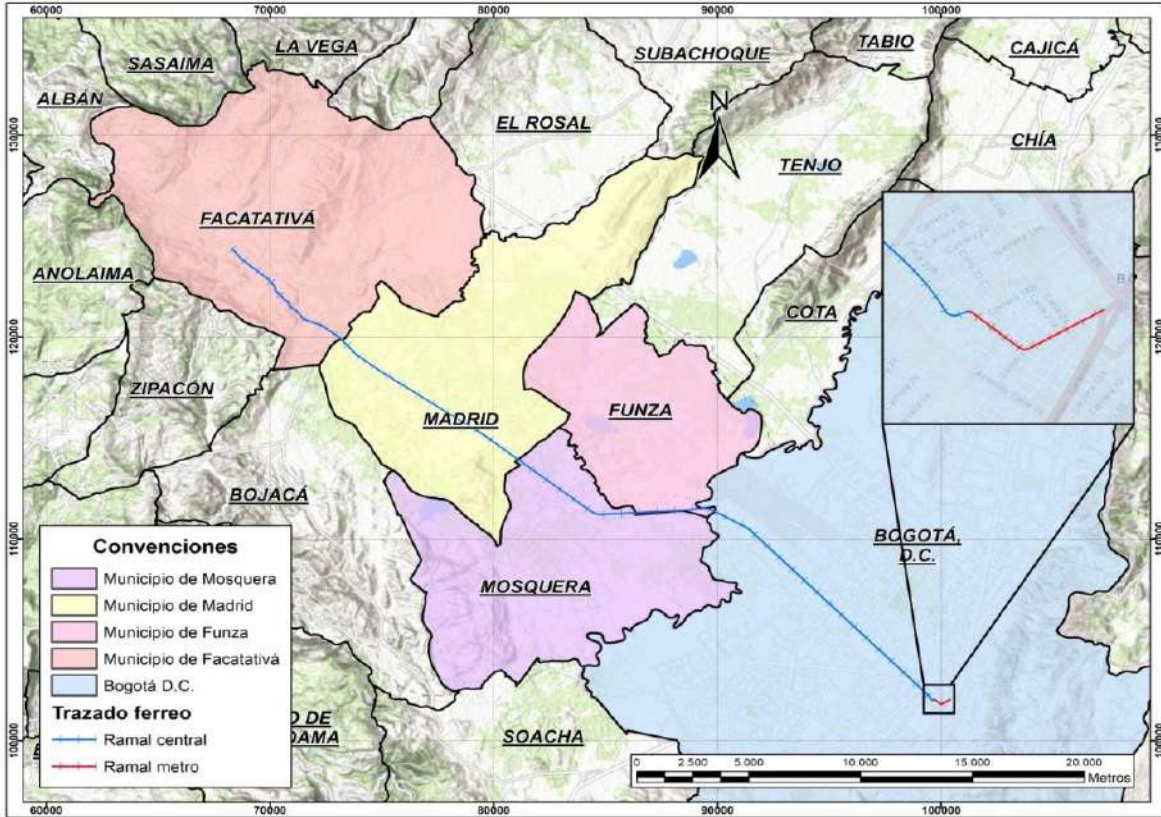
Desde este punto, el corredor del Regiotram conserva el trazado inicial, sin incluir el ramal Dorado 1 y finaliza en la estación Facatativá 1 en la calle 5 del Municipio con igual nombre.

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El proyecto se desarrollará en el corredor existente del Tren de Occidente con una longitud de 39,64 km, aproximada, de los cuales 25,04 km se encuentran en la zona suburbana y 14,6 Km en la zona urbana, conectando a la ciudad de Bogotá con los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y finaliza en el municipio de Facatativá (**Figura 1**), el trayecto definido mantiene un paralelismo relativo a las Calles 26 y Calle 13 que atraviesan la ciudad de Bogotá de oriente a occidente, el cual se denomina Corredor Principal o Central; dicho tramo alcanza en el ancho de la faja del corredor férreo existente entre el K0+900 al K39+553.

Adicionalmente, se contempla la construcción del ramal al Metro, el cual se proyecta desde el corredor férreo existente en cercanías a la Diagonal 19A y la Carrera 19 hasta conectarse con la estación de la PLMB en inmediaciones de la Calle 26 con Avenida Caracas, utilizando parte de las vías existentes entre estos dos puntos. A continuación, se presenta en la **Figura 1** el trazado del proyecto Regiotram de Occidente por los municipios del occidente de la Sabana de Bogotá y el Distrito Capital.

Figura 1. Localización del proyecto Regiotram



Fuente: Estructurador 2019.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL CORREDOR

El corredor del proyecto se encuentra dividido en dos (2) tramos iniciando en el Ramal Metro en la Carrera 17 por Calle 25 (K0+000) y continua por vías del Barrio Santa Fe, se une al “Corredor principal” en la Diagonal 19 por Carrera 19, a partir de este punto continua por la franja existente del Tren de Occidente, hasta el Municipio de Facatativá (K39+660).

3.2.1 Ramal al Metro

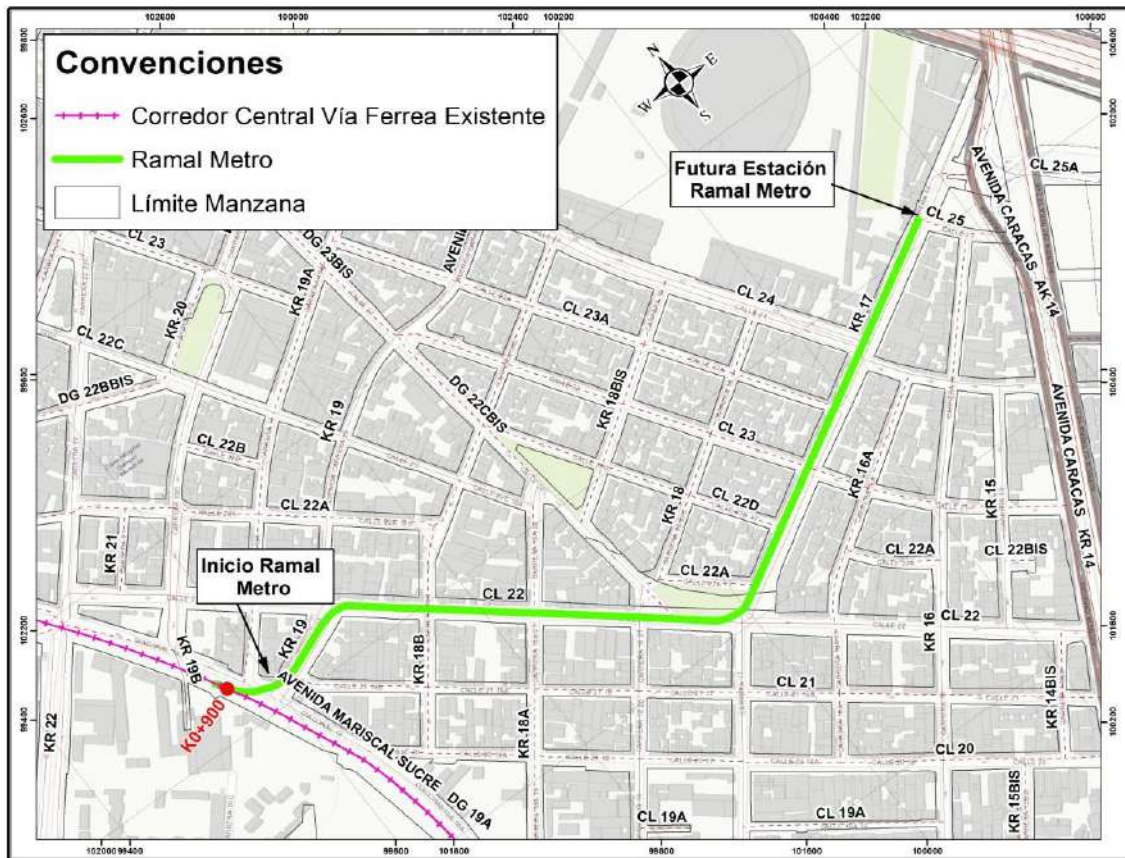
Dando alcance al documento CONPES 3902 de 2017, donde se definió la importancia de generar una interacción entre el proyecto Regiotram de Occidente y el Sistema Integrado de Transporte Público - SITP de Bogotá, y de forma específica con la PLMB, con lo cual se permitirá que los pasajeros que usen este medio de transporte se desplacen masivamente desde el centro de la ciudad de Bogotá hasta los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá y viceversa, contribuyendo a la conectividad de pasajeros entre la Sabana de Occidente y el Distrito Capital.

El Ramal al Metro cumple la función de conectar al Corredor Principal desde la intersección de la Av. Ferrocarril (Diagonal 19A) con Carrera 19 hasta la zona de integración de la futura estación Metro de la PLMB propuesta en la Carrera 17 con Calle 25, cuya longitud total es de 1,03 kilómetros que representa el 2.6% del total del trayecto del proyecto, que incluye la estación del Proyecto Regiotram de Occidente, la cual llega a la Plazoleta de la Luz en inmediaciones de la estación proyectada de la PLMB.

El trayecto propuesto para este “Ramal”, se definió como un trazado férreo que cumple las condiciones de un tranvía urbano por dimensión en secciones y radios de curvaturas requeridas para su implantación

y operación, toda vez que cumple con las recomendaciones técnicas desde el punto de vista de tránsito y movilidad, establecidas por el Distrito Capital a través de la Secretaria Distrital de Movilidad, según la comunicación **SDM-DM-21049-18**. Es importante indicar que Las vías que componen este tramo no son vías principales, ni por estas pasan rutas de Sistema Integrado de Transporte Público - SITP y tampoco corresponde al trazado PLMB.

Figura 2. Trazado Ramal al Metro e Intersección PK0+900 Corredor Férreo Principal (Existente)



Fuente: Estructurador 2019

El primer sector del Ramal al Metro está comprendido por la calzada vehicular de la carrera 17 desde la zona de integración con la estación Metro (calle 25 o 26) hasta la Calle 22, en terreno plano con dinámica urbana y drenaje transversal a los costados, cuya sección vial es de 24 m; cuenta con dos calzadas vehiculares bidireccionales, cada una con dos carriles en concreto asfáltico de 3.25m de ancho, con un separador de 2.8m y zona peatonal de ancho variable en cada sentido. La tipología de vía según el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) de Bogotá se ajusta a una vía tipo V4.

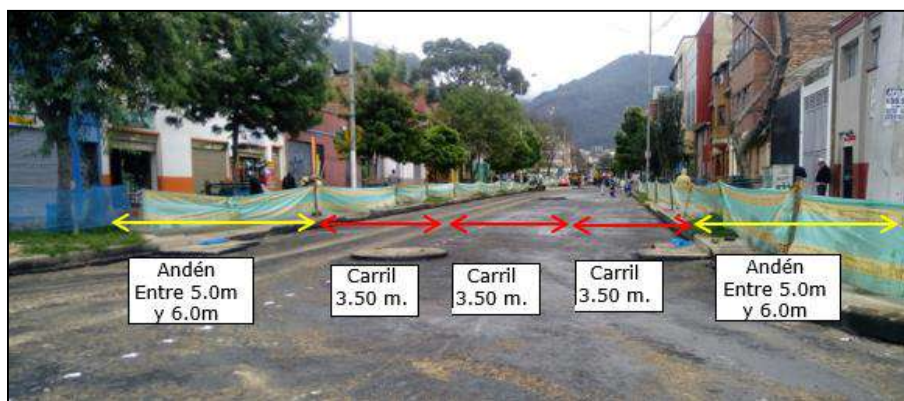
Figura 3. Carrera 17 entre Calle 25 y Calle 22



Fuente: Estructurador 2019

El segundo sector está comprendido por la calzada vehicular de la Calle 22 entre la Carrera 17 y la Carrera 19, en terreno plano con dinámica urbana y drenaje transversal a los costados, cuya sección vial es de 22,0 m, cuenta con 3 carriles en concreto asfáltico de 3,50 m de ancho y sentido de flujo unidireccional conduciendo al Occidente y una zona peatonal a los costados de ancho variable entre 5,0 m y 6,0 m, cuya tipología de vía según el POT de Bogotá se ajusta a una vía V5.

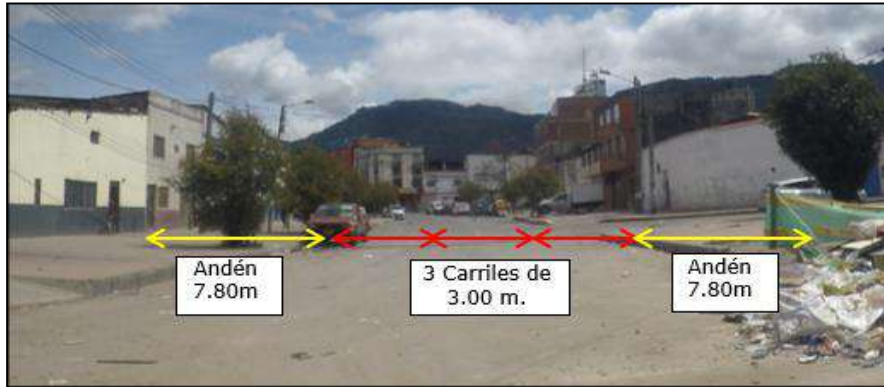
Figura 4. Calle 22 entre Carrera 17 y Carrera 19



Fuente: Estructurador 2019

El tercer sector corresponde a la conexión con la vía férrea actual. Está comprendido por la calzada vehicular de la carrera 19 desde la Calle 22 hasta la vía férrea actual, en terreno plano con dinámica urbana y drenaje transversal a los costados, cuya sección vial de 25m; cuenta con 3 carriles en concreto asfáltico de 3.00 m de ancho, con sentido de flujo unidireccional conduciendo al Sur y zona peatonal a los costados de ancho 7.80m aproximadamente.

Figura 5. Carrera 19 entre Calle 22 y Diagonal 19ª



Fuente: Estructurador 2019

3.2.2 Corredor Principal

El trazado del Corredor Principal inicia en la intersección de la Calle 22 (Av. Ferrocarril) con la Carrera 19, en el barrio Santa Fe de la localidad catorce (14) Los Mártires donde recorre la ciudad de Oriente a Occidente hasta el límite de la ciudad, cruzando las localidades de Los Mártires, Puente Aranda, Teusaquillo y Fontibón, en la ciudad de Bogotá D.C.; A continuación, se observa en las figuras y fotografías que la intervención del Proyecto Regiotram de Occidente coincide exactamente sobre la franja del corredor férreo existente.

Figura 6 Empalme Ramal Metro Corredor Principal



Fuente Estructurador 2019, a partir de Google Earth

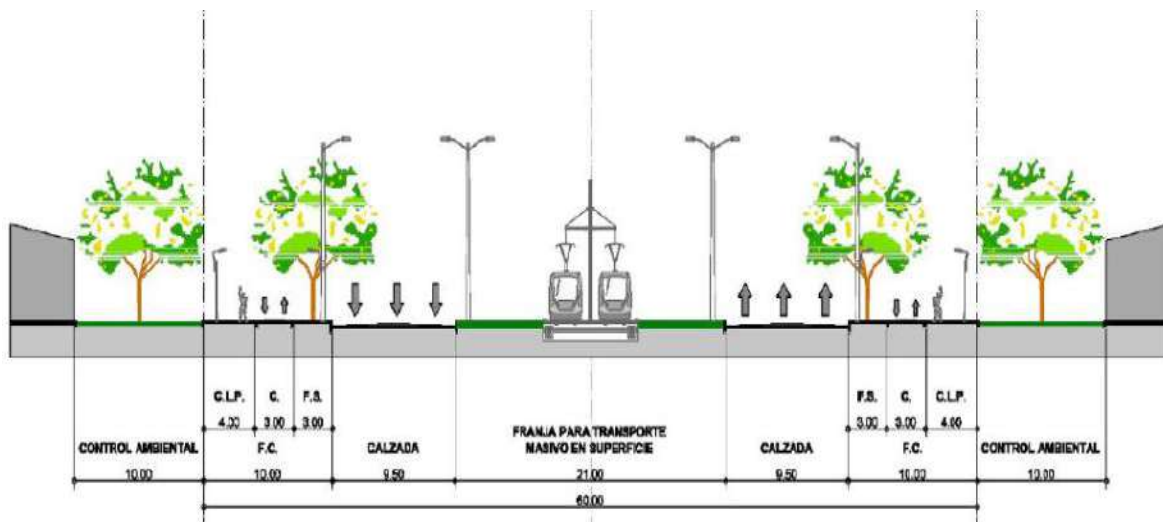
Fotografía 1 Primer Tramo del Corredor Principal Av. Ferrocarril por Carrera 22



Fuente: Estructurador 2019

El corredor discurre en general por el separador central de la Av. Ferrocarril, donde se contempla que la sección vial según el POT de Bogotá (Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, 2004), presente una configuración tipo V2 con 60.0m de ancho, la cual destina una franja amplia para el sistema férreo, tal como se ilustra en la siguiente Figura 7.

Figura 7 Sección vial Av. Ferrocarril

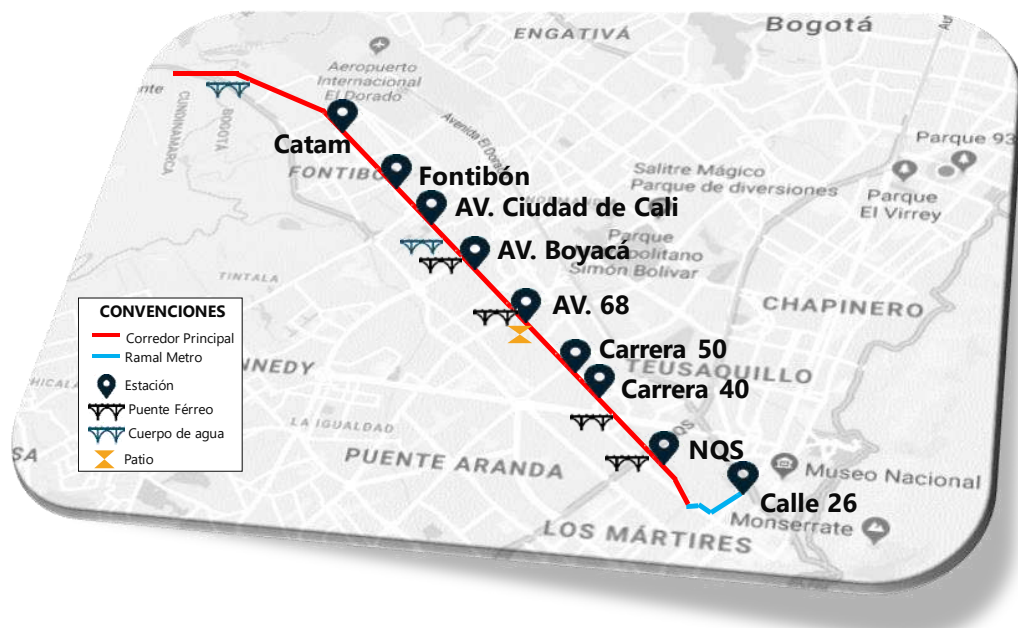


Fuente: POT Bogotá (2004)

El corredor actualmente opera con trocha angosta de 914 mm y bidireccional para el transporte de carga y pasajeros, en su mayoría sobre balasto.

En las figuras siguientes se observa la ubicación de estaciones, puentes férreos, puentes sobre cuerpos de agua y puentes a desnivel en el área Urbana y en el área Sub-urbana.

Figura 8. Corredor Férreo Área Urbana



Fuente: Estructurador 2019

Figura 9 Corredor Férreo Área Suburbana



Fuente: Estructurador 2019

3.3 ESTUDIOS DE DEMANDA EN ETAPA DE FACTIBILIDAD

La EFR contrató a la firma Steer bajo el contrato No. EFR-020-2018, con el objeto de Estimar de la demanda potencial del proyecto Regiotram, el escenario base para el proyecto es el siguiente:

Tabla 1. Escenario Base Regiotram de Occidente

Año	2024	2032	2036	2044	2048
Carga máxima (pphps)	8406	7285	7452	8624	8742
Carga Tramo Principal (pphps)	2849	3280	3462	3876	3917
Carga Tramo Madrid-Facatativa (pphps)	1587	2271	2430	2566	2479

Fuente: Elaboración Propia con base en el informe de demanda de Steer

3.3.1 Variación de la demanda al largo del día

Para estimar la variación de la demanda al largo del día se utilizaron los aforos realizados por STEER al largo de la estructuración en dos puntos:

- Peaje Rio Bogotá
- Salida del Portal 80

Esos dos puntos caracterizan la movilidad entre Bogotá y la Sabana Occidente, que constituye la mayor parte del mercado el Regiotram (hasta los 95% en 2032).

El periodo pico de la mañana en el sentido Facatativá-Bogotá es el periodo de mayor demanda del sistema. La hora pico está entre las 6 y las 7 de la mañana. El pico de la tarde es más bajo que lo de la mañana.

En el sentido Bogotá-Facatativá, el periodo de pico de la mañana es menos importante, así como el pico de la tarde, se presume que la demanda es menor concentrada y se diluye sobre un periodo mayor que por la mañana.

El día sábado es parecido al día laborable, pero con volúmenes menos importantes y el día domingo tiene una demanda estable al largo del día. Lo mismo ocurre en el sentido Bogotá-Facatativá que en el sentido Facatativá-Bogotá.

3.4 PLAN DE OPERACIÓN

De acuerdo con el estudio de demanda y el escenario base se tiene el siguiente resultado operacional para el año cero (0) del proyecto (2024), la cual se caracteriza por:

3.4.1 Horarios y Servicios

Día laboral y sábado:

- Bogotá – Facatativá
- Bogotá – Madrid

- Bogotá – Mosquera
- Primera partida sentido Facatativá-Bogotá: 4.00
- Primera partida sentido Bogotá-Facatativá: 4.30
- Última partida sentido Facatativá-Bogotá: 22.00
- Última partida sentido Bogotá-Facatativá: 22.30

Día domingo y Festivos:

- Bogotá – Facatativá
- Bogotá – Madrid
- Bogotá – Mosquera
- Primera partida sentido Facatativá-Bogotá: 5.00
- Primera partida sentido Bogotá-Facatativá: 5:00
- Última partida sentido Facatativá-Bogotá: 21.30
- Última partida sentido Bogotá-Facatativá: 21.30

Los servicios se efectúan con trenes de 50m de longitud que se puedan acoplar para formar composiciones dobles.

3.4.2 Velocidades

Las velocidades máximas aplicadas a los trenes son adaptadas a las inserciones de la línea (perfil, curvas) y a los entornos. Se han identificado 3 secciones diferentes:

- Ramal metro, entre la estación "Calle 26" y el Km 1+200:
 - 50 km/h en los alineamientos rectos
 - 15 km/h en las curvas cerradas (con radio de 30-40m)
 - 30 km/h en los cruces semafóricos
- Zona Bogotá, cuando la línea se ubica en el derecho de vía existente con implantación segregada:
 - entre 50 y 70 km/h de máximo
 - 50 km/h para los cruces con barreras
- Zona de Sabana:
 - hasta 70 o 100 km/h según el desempeño del material rodante.
 - Restricción en las zonas urbanas de Madrid, Mosquera y Facatativá por hasta 50-70 km/h también dependiente del número de cruces viales.
 - 50 km/h para los cruces con barreras en zonas urbanas hasta 100 km/h para los demás cruces (según contexto).

3.4.3 Tiempos de Recorrido

Los tiempos de recorrido calculado en el itinerario completo de la línea Regiotram de Occidente, entre la estación terminal en Bogotá (Calle 26) y la estación terminal en Facatativá 1 se presentan para la opción de 70 km/h así:

- Bogotá – Mosquera 35:42 36:39
- Bogotá – Madrid 42:05 43:43
- Bogotá – Facatativá 1 54:38 58:33

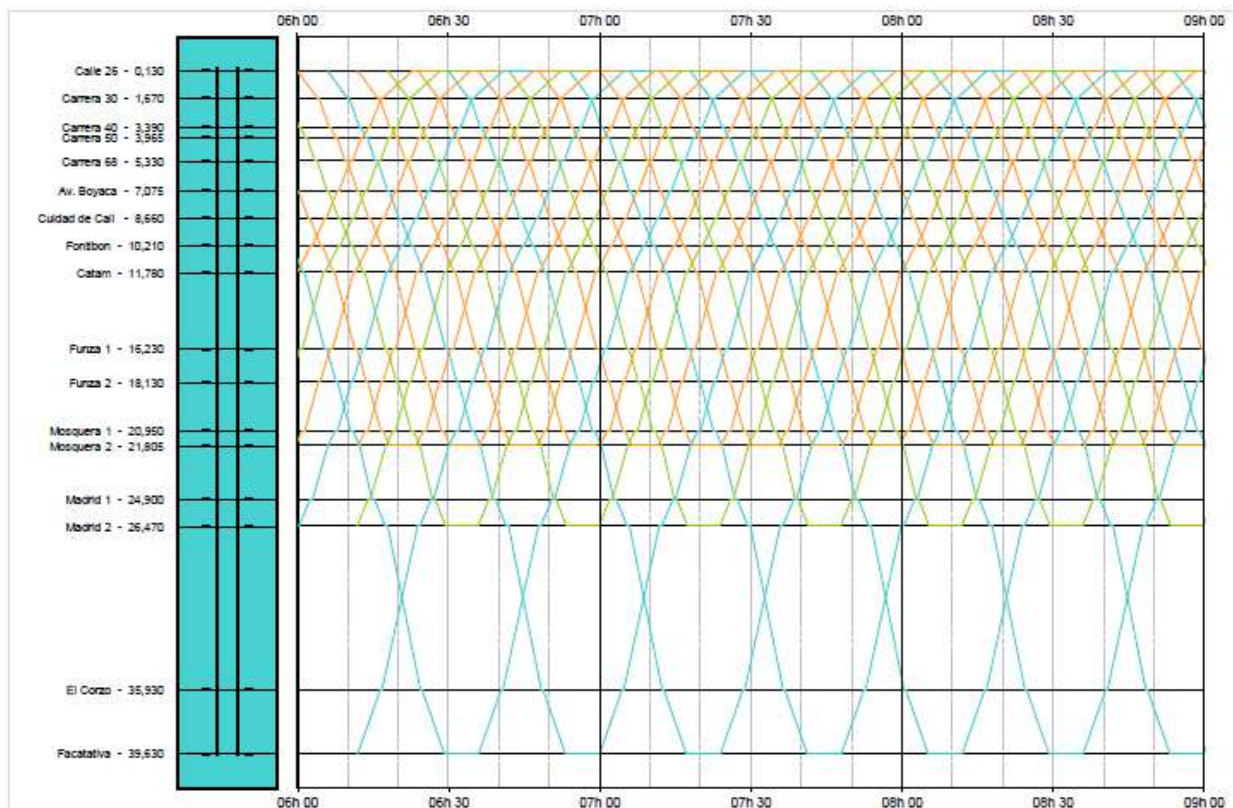
Los tiempos de recorrido calculado en el itinerario completo de la línea Regiotram de Occidente, entre la estación terminal en Bogotá (Calle 26) y la estación terminal en Facatativá 1 se presentan para la opción de 100 km/h así:

- Bogotá – Mosquera 35:42
- Bogotá – Madrid 42:05
- Bogotá – Facatativá 1 54:38

3.4.4 Malla horaria

La malla horaria se define para un horario pico donde se mantiene el intervalo mínimo en los dos sentidos. Se desarrolla esa malla horaria para la velocidad operacional de 70 km/h.

Tabla 2. Malla horaria periodo pico 2024



Tomando en cuenta una hipótesis de reserva de mantenimiento y de operación de un mínimo de 10%, la flota total requerida es de 18 composiciones, correspondiente a 36 trenes de 50m.

4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 TOPOGRAFÍA

En el contrato de Estructuración para el corredor principal se mantuvo a topografía existente entregada por la EFR, por lo cual desde el punto de empalme con el Ramal Metro en la Abs K1+053 en la Avenida Ferrocarril con carrera 19 hasta la estación de Facatativá 1 en la calle 5, se tuvo en cuenta el trabajo de topografía presentado por el Originador en el año 2013.

La topografía presentada por el originador se realizó con el Sistema de Referencia Oficial MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional de referencia – Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y la altimetría está referida al nivel medio del mar.

Para el desarrollo del estudio de factibilidad del Ramal Metro en el año 2019, se realizó el levantamiento topográfico detallado que determinó las coordenadas Planas de Gauss origen Central, amarrado a un vértice conocido certificado por el IGAC, se utilizó el sistema MAGNA SIRGAS, representado en un plano georreferenciado y a escala adecuada los accidentes relevantes para elaborar el estudio de factibilidad de la zona.

El área de levantamiento se encuentra ubicada en las coordenadas 4°36'45.06"N y 74°04'40.31" o en zona urbana de Bogotá-Cundinamarca.

Para el levantamiento topográfico se realizó una poligonal de amarre de tipo abiertas con doble punto de apoyo, esto con el fin de disponer puntos con coordenadas reales que sirvieron como base para la ejecución de los levantamientos topográficos en las zonas de líneas de tubería existente y en las fajas de terreno para líneas proyectadas de diseño.

La poligonal realizada para el Ramal Metro cumplen con las especificaciones técnicas dadas en la norma NS-030 de la EAAB, pues la poligonal tiene cierre angular dentro de las tolerancias de la norma y tienen cierres superiores a 1:40.000.

Todos los datos estadísticos y de cálculo de la poligonal realizada se encuentran en el Anexo Informe de Topografía Ramal Metro. Es importante mencionar que la poligonal efectuada fue calculada por los tres métodos de cálculo exigidos por la norma NS-030 de la EAAB que son visuales directas, visuales inversa y promedio de visuales, asegurando que se cumplen los estándares establecidos por la EAAB, en los tres métodos de cálculo y para toda la poligonal.

4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

4.2.1 Consideración generales

La geometría de las vías queda definida por:

- El trazado del eje geométrico de cada vía, considerando que la longitud de entrevía no es constante en el proyecto (optimización de la franja en el ramal metro, estaciones de andén central u otras configuraciones especiales).
- El trazado de un eje en alzado o perfil.

- La sección transversal en cada tramo del corredor férreo.

4.2.2 Trazado en planta

Fuera de la zona del ramal metro, el eje definiendo el trazado en planta de la plataforma del corredor principal corresponde a lo definido por el originador dentro de su estudio de factibilidad (siguiendo el derecho de vía existente).

Se compone de una sucesión de alineaciones rectas y curvas circulares unidas entre ellas por curvas de transición tipo clotoide, en la cual se realizan las transiciones geométricas del peralte y dinámicas del material móvil.

El parámetro del acuerdo (A) elevado al cuadrado equivale al producto de la longitud de la curva de transición (L) por el radio del círculo que se enlaza (R).

$$A^2 = L * R$$

Dos curvas circulares que giran en el mismo sentido y tienen distinto radio, pueden ser unidas también mediante una curva de transición tipo clotoide, cuya longitud está definida por la diferencia de las longitudes de las clotoides que serían necesarias para enlazar estas circulares con rectas consideradas cada una aisladamente.

4.2.3 Trazado en alzado

El trazado en alzado o perfil, se define en cada punto como la posición que ocupa el hilo bajo de la vía. Éste trazado, está constituido por una sucesión de alineaciones con pendiente constante denominadas rampas o pendientes, cuando sus pendientes son positivas y negativas respectivamente. Estos tramos se enlazan mediante acuerdos verticales tipo parabólico, es decir curvas de segundo grado. El radio de estas curvas es variable y el parámetro del acuerdo (Kv) representa el radio de curvatura mínimo que se encuentra en el punto medio de la curva de transición.

- En caso de vía doble:
- en vía en placa, el alzado de la otra vía queda deducida de la primera, ya que la pendiente transversal de la plataforma esta constante y definida por el valor de peralte.
- en vía en balasto, el alzado de la otra vía queda deducida de la primera, ya que la altimetría de los dos carriles bajos de cada vía queda igual.

Para determinar totalmente la geometría de la superficie de la plataforma, no es necesario definir los peraltes de la vía, pues la pendiente transversal de la capa de forma o rasante, es constante a lo largo del eje. Dicha pendiente adopta un valor diferente según el material empleado bajo la superestructura (balasto o vía en placa).

En los casos en los que el eje en planta definido coincide con el eje de la vía, el longitudinal representa al del hilo bajo, alrededor del cual girará el peralte.

4.2.4 Exigencias de seguridad y comodidad

Para cumplir con las exigencias de seguridad, comodidad del viajero y conservación de la vía, es necesario establecer limitaciones en los parámetros funcionales del trazado. De estos parámetros funcionales se infieren a su vez los parámetros geométricos a adoptar: longitudes de clotoides, valores mínimos de radios, acuerdos verticales, peraltes, longitudes de transición, etc.

Se establecen previamente al diseño del trazado los siguientes valores límite:

- Valor límite normal: Es aquel que no debe ser superado cuando se circula en condiciones normales dentro del rango de velocidades admisible.
- Valor límite excepcional: Es el valor extremo que puede llegar a adoptarse. El uso del valor límite excepcional debe limitarse tanto como sea posible, reservándose para situaciones en las que concurren circunstancias especiales. Necesitan justificación escrita (otros parámetros con valores lejos de los extremos, entorno/velocidad baja, ...).

4.2.5 Parámetros de diseño

Para alcanzar un alto nivel de seguridad y comodidad del viajero, se definen a continuación unos parámetros que sirven de base al diseño del trazado, para todo el proyecto. Permiten definir la velocidad máxima de circulación (teórica) y dimensionar las curvas de transición/acuerdos en planta y alzado.

Tabla 3. Parámetros de diseño de trazado de la vía férrea

Parámetro	Unidad	Valor			
		General	En placa	En balasto	Taller, etc.
Parámetros generales					
Ancho de vía	mm	1435			
Velocidad máxima en entorno urbano	km/h	70			
Velocidad máxima en entorno interurbano	km/h	100			
Insuficiencia de peralte máxima	mm	100			
Aceleración transversal sin compensar correspondiente	m/s ²	65			
Sobre aceleración máxima	m/s ³	0.4			
Rampa de peralte deseable	mm/m	2			
Rampa de peralte excepcional	mm/m	3			
Trazado en planta					
Radio mínimo deseable	m		30	350	30
Radio mínimo excepcional	m		25		25
Longitud mínima de alineación recta entre dos radios de curvatura contraria, con radios < 200m	m		10		
Longitud mínima de alineación recta (V en km/h)				V/2	
Longitud mínima de clotoide deseable	m		12	20	0
Longitud mínima de clotoide excepcional	m		7	15	
Peralte máximo (en acuerdo con el drenaje y la topografía)	mm		60	100	0
Peralte máximo en cruce (en acuerdo con el drenaje)	mm	30			
Trazado en alzado					
Aceleración vertical	m/s ²	0.22			
Radio vertical mínimo deseable (cresta y valle)	m	500			
Pendiente máxima	%		5	4	4
Máxima pendiente en 100 m	%		6		
Pendiente equivalente P pendiente (%), con R Radio en planta (m) y Pmax pendiente máxima (%)	%	$P+80/R < P_{max}$			

Parámetro	Unidad	Valor			
		General	En placa	En balasto	Taller, etc.
Parámetros en estaciones					
Longitud de plataforma	m	120			
Distancia eje-borde de plataforma	m	1.375			
Altura de plataforma	mm	300			
Radio mínimo en plataforma	m	700			
Acuerdo vertical mínimo (radio parabólico)	m	3000			
Pendiente máxima de la rampa de acceso a la plataforma*	%	10			
Pendiente excepcional de la rampa de acceso a la plataforma*	%	12			

Fuente: Elaboración propia

* Según cartilla de andenes de Bogotá

4.2.6 Gálidos y Secciones Transversales

La definición de los gálidos depende de la elección final de las características del material móvil (ancho de caja, longitud, número de módulos, etc.):

- Gálibo estático
- Gálibo dinámico
- Gálibo Limite de Obstáculo (con sobreanchos)

Para el proyecto Regiotram, teniendo en cuenta que no se establece un material móvil específico, se define a continuación un envolvente geométrico con los gálidos de vehículos tipo tren ligero actualmente en operación considerando el caso identificado como menos favorable.

4.2.6.1 Gálidos en recta

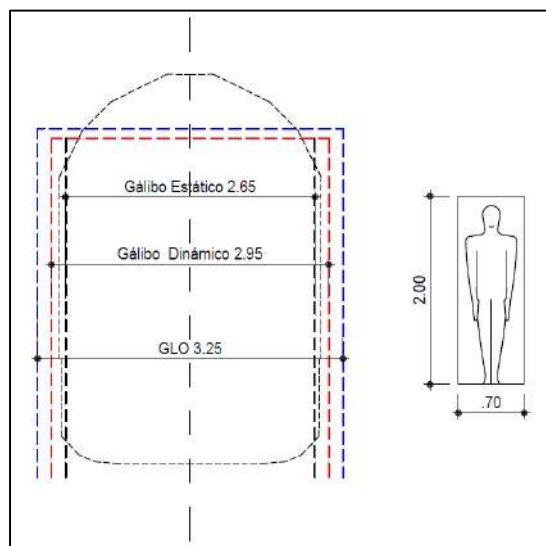
Se contempla un **gálibo estático (ancho) 2.65m**.

A partir de las dimensiones de los vehículos y de las tablas de gálidos dinámicos (GD) de los materiales móviles adaptados al proyecto se define un gálibo dinámico "envolvente".

A partir de este gálibo envolvente, se obtiene un gálibo libre de obstáculo (GLO) añadiendo los sobreanchos.

Los gálidos del material móvil en recta están presentados en la figura siguiente:

Figura 10. Gálidos en recta



Fuente: Elaboración propia

4.2.6.2 Tabla de gálidos dinámicos en curva

El gálibo dinámico está calculado con las formulas geométricas del documento UIC 505-1 con el desgaste máximo de los rieles y las ruedas, y con juegos laterales máximas.

El efecto del viento y de los esfuerzos laterales al galibo no son incluidos, porque dependen de las características de las suspensiones del vehículo que no son definidos.

Incluye las tolerancias de la caja, su movimiento lateral, la posición asimétrica en la vía (paredes laterales inclinadas para compensar todos los giros)

Tabla 4: Gálidos dinámicos envolvente en curva

Radio en planta (m)	Gálibo dinámico interior (mm)	Gálibo dinámico exterior (mm)
25	2238	2005
30	1984	1900
35	1910	1781
40	1855	1765
50	1779	1729
60	1728	1707
70	1692	1691
80	1664	1678
90	1643	1669
100	1626	1661
150	1576	1638
200	1551	1617
300	1526	1587
400	1513	1561
500	1505	1564
1000	1490	1552
2000	1483	1548
recta	1475	1475

Fuente: Elaboración propia

4.2.6.3 Sobranchos y Gálibo Límite de Obstáculo

Considerando una lámina de aire de 150 mm, se pueden establecer el entreje necesario para cada radio y el ancho mínimo total proyectado para cada radio.

En el caso de sección con poste de catenaria central, se añadirá la anchura del poste en el cálculo del entreje y de la anchura total:

- ancho de poste de 400 mm.
- Postes centrales no se pueden instalar en curvas de radio inferior a 120m.

Teniendo en cuenta postes de catenaria, cuando se ubican centrales y las láminas de aire (con hipótesis de doblar la lámina de aire entre los dos gálibos dinámicos para una vía doble) se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 5. Gálibos

Radio (m)	Gálibo dinámico (mm)		Poste catenaria central (mm)	Lámina de aire (mm)	Gálibo libre de Obstaculo (GLO) (mm)		Mínimo entreje (mm)	Mínimo gálibo libre de obstáculo via doble (mm)
	Interior	Exterior			Interior	Exterior		
25	2 238	2 005	no postes centrales	150	2 388	2 155	4 543	9 086
30	1 984	1 900		150	2 134	2 050	4 184	8 368
35	1 910	1 781		150	2 060	1 931	3 991	7 982
40	1 855	1 765		150	2 005	1 915	3 920	7 840
50	1 779	1 729		150	1 929	1 879	3 808	7 616
60	1 728	1 707		150	1 878	1 857	3 735	7 470
70	1 692	1 691		150	1 842	1 841	3 683	7 366
80	1 664	1 678		150	1 814	1 828	3 642	7 284
90	1 643	1 669		150	1 793	1 819	3 612	7 224
100	1 626	1 661		150	1 776	1 811	3 587	7 174
con poste central								
150	1 576	1 638	400	150	1 726	1 788	3 914	7 428
200	1 551	1 617	400	150	1 701	1 767	3 868	7 336
300	1 526	1 587	400	150	1 676	1 737	3 813	7 226
400	1 513	1 561	400	150	1 663	1 711	3 774	7 148
500	1 505	1 564	400	150	1 655	1 714	3 769	7 138
1 000	1 490	1 552	400	150	1 640	1 702	3 742	7 084
2 000	1 483	1 548	400	150	1 633	1 698	3 731	7 062
Recta	1 475	1 475	400	150	1 625	1 625	3 650	6 900

Fuente: Elaboración propia

4.2.6.4 Gálibo vertical

El área de trabajo del pantógrafo está entre 3,850 mm - 6,500 mm del nivel del carril.

El gálibo vertical depende de las situaciones dentro la red y la altura de la catenaria (la altura del coche no está fijado y tampoco la catenaria). Por el gálibo dinámico vertical se considera el pantógrafo como punto de referencia: todas las otras partes del techo deben tener en casos extremos una distancia mínima de 150mm de la catenaria.

4.2.7 Anchos de plataforma en tramo recto

Los anchos de plataforma por tramo se describen a continuación y son los utilizados para la definición del proyecto de referencia:

Tabla 6. Definición plataforma por tramo

Pk inicio	Pk final	Tipo de riel	Estructura	Velocidad de fondo	Faja	Protección de la faja	Características	Cruces
0+000	1+200	41GP 13	Placa	30 km/h	<8 m	No	Ramal metro – Curvas 30m	Semáforos
1+200	2+240	41GP 13	Placa	50 km/h	<8 m	No	Derecho de vía	Semi
2+240	3+000	41GP 13	Viaducto	50 km/h	-	Viaducto	Viaducto	
3+000	3+200	41GP 13	Placa	50 km/h	<8 m	No	Corferías	Semi
3+200	3+500	41GP 13	Placa	50 km/h	-	No	Cambio de estructura/Estación Cra 40	
3+500	8+100	50E6	Balasto	70 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	Barreras
8+100	11+800	50E6	Balasto enmarcado	50 km/h	<10 m	No	Derecho de vía	Semi
11+800	14+620	50E6	Balasto	70 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	Barreras

Pk inicio	Pk final	Tipo de riel	Estructura	Velocidad de fondo	Faja	Protección de la faja	Características	Cruces
14+620	17+900	50E6	Balasto	100 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	
17+900	18+200	50E6	Balasto enmarcado	50 km/h	<10 m	No	Zona estación Funza	Semi
18+200	19+100	50E6	Balasto	100 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	Barreras
19+100	19+150	50E6	Balasto	70 km/h	12 m		Cruce 50. La estancia	
19+150	20+700	50E6	Balasto	100 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	
20+700	21+900	50E6	Balasto enmarcado	50 km/h	<10 m	No	Zona Urbana Mosquera	Semi
21+900	25+200	50E6	Balasto	100 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	Barreras
25+200	25+900	50E6	Balasto enmarcado	50 km/h	<10 m	No	Zona Urbana Madrid	Semi
25+900	26+800	50E6	Balasto enmarcado	30 km/h	<10 m	No	Centro urbano Madrid	Semáforos
26+800	35+800	50E6	Balasto	100 km/h	12 m	Si	Derecho de vía	Barreras
35+800	36+960	41GP 13	Placa	30 km/h	<8 m	No	El Corzo-Cartagenita	Semáforos
36+960	37+200	41GP 13	Placa	70 km/h	<8 m	Si	Derecho de vía	Barreras
37+200	37+380	41GP 13	Placa	30 km/h	<8 m	No		Semáforos

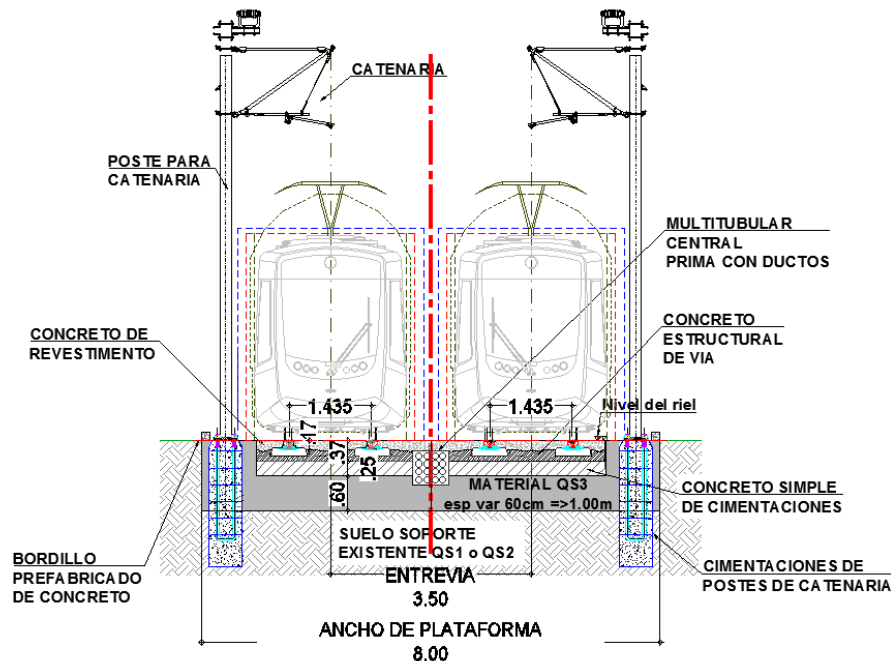
Pk inicio	Pk final	Tipo de riel	Estructura	Velocidad de fondo	Faja	Protección de la faja	Características	Cruces
37+380	39+400	41GP 13	Placa	70 km/h	<8 m	Si		Barreras
39+400	39+660	41GP 13	Placa	50 km/h	<8 m	No	Zona urbana Faja	Semi

Fuente: Elaboración propia

4.2.8 Secciones tipo en tramo recto

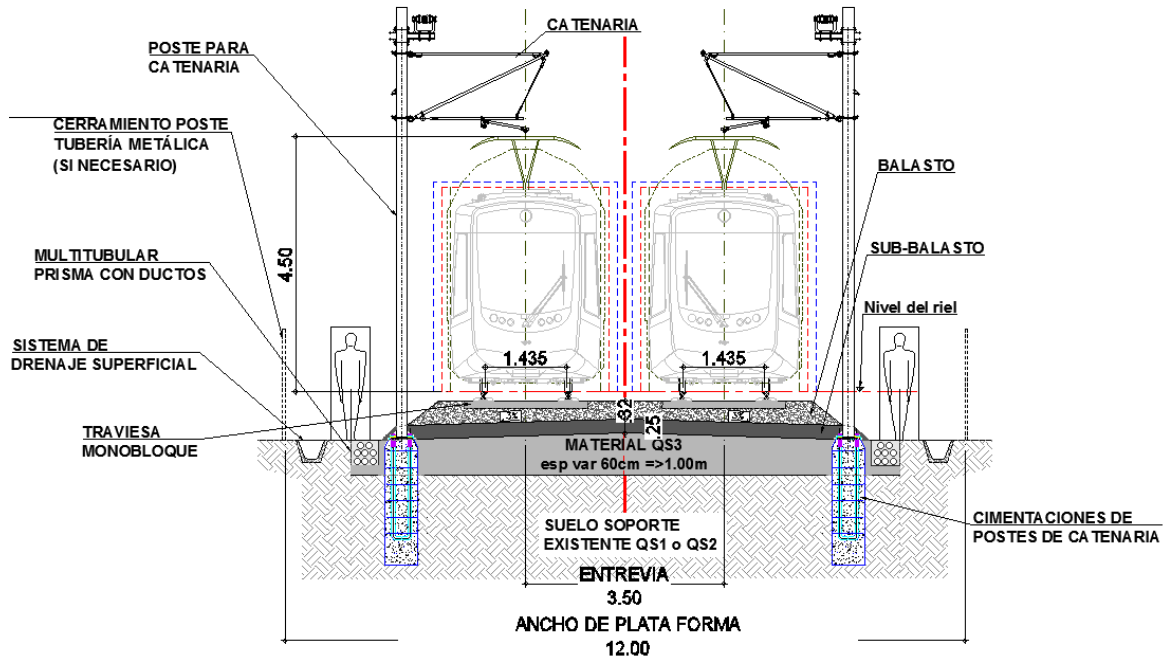
Se presentan aquí las secciones tipo en tramo recto mostrando los gálibos, así como la plataforma ferroviaria y la superestructura de vía, asuntos detallados en los dos próximos capítulos.

Figura 11. Sección en placa Vía doble



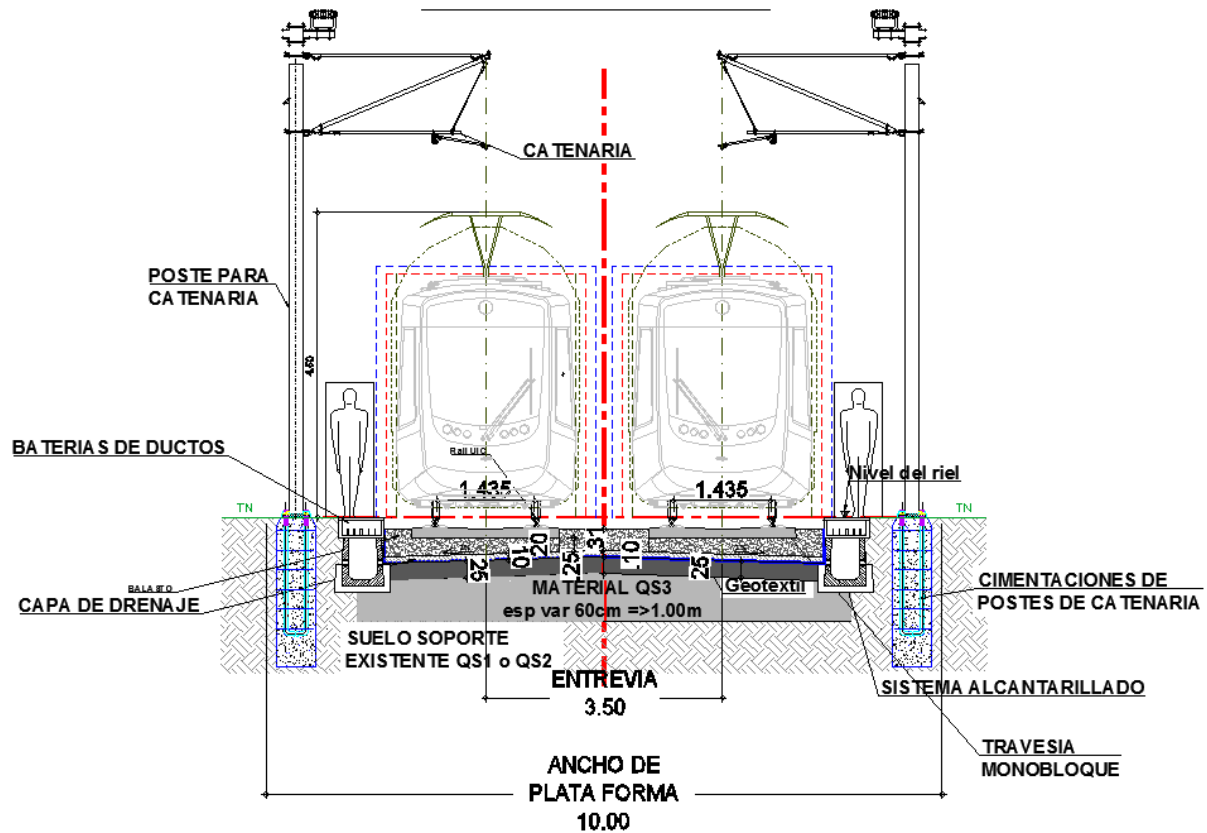
Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Sección en Balasto Tramo Recto



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Sección en balasto enmarcado. Vía doble.



Fuente: Elaboración propia

4.3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

La caracterización geotécnica del corredor principal se construyó basado en la información secundaria recibida por parte del originador y en los trabajos de campo de exploración del subsuelo por medio excavación directa de apiques con pruebas de Cono ligero de Penetración Dinámica y recuperación de muestras para pruebas de clasificación y de capacidad relativa de soporte (CBR). Adicionalmente se adelantó exploración profunda complementaria en los sitios de ponedero de mayor importancia, con el propósito de mejorar la información de resistencia y deformabilidad de los perfiles, así como su posible comportamiento ante eventos especiales. Para cumplir con esta necesidad se decidió ejecutar perforaciones directas con piezocono, en los sitios principales de ponedero.

Con el objeto de incluir información sobre la geotecnia de las vías de acceso y sobre la disponibilidad de materiales térreos apropiados para la construcción se realizó la ejecución de apiques directos, pruebas de cono dinámico ligero (PDC) y recuperación de muestras para ensayos de clasificación y de CBR en el laboratorio.

4.3.1 Geología

En general los tramos de estudio discurren sobre la Sabana de Bogotá, caracterizada por la presencia de suelos blandos y compresibles que se encuentran en proceso de consolidación, enmarcados en la zona correspondiente a la parte Nor-Occidental de la Sabana de Bogotá, exceptuando los cerros de Suba. De manera muy general, se puede representar un perfil constituido en su parte más superficial por limos y arcillas orgánicas negras con raíces y en proceso de compresión por efecto del peso del relleno suprayacente existente en muchos lugares. Inmediatamente, debajo del estrato antes descrito, se encuentran las arcillas y limos lacustres muy sobre consolidadas, desecadas y fisuradas. Subyaciendo el estrato de arcillas lacustres se halla una arcilla limosa gris verdosa a habana o limo arcilloso que se caracteriza por su alta plasticidad, humedad y compresibilidad mientras su resistencia es fundamentalmente baja. De acuerdo con la exploración complementaria ejecutada en el marco del presente estudio, presenta preconsolidación alta cerca de la superficie y moderada a ligera a medida que se avanza en profundidad, pero siempre se encuentra preconsolidada.

Es importante destacar el origen lacustre de los suelos de la parte Occidental de la Sabana de Bogotá; tales materiales son el resultado de la depositación bajo régimen de aguas tranquilas unido a procesos de intensa actividad orgánica, alcanzando espesores importantes (suelos medianamente profundos) de materiales cohesivos, arcillas y limos, ocasionalmente mantos y lentes de turba. En el momento en que las aguas se retiraron, entran en acción los procesos de desecación con la consiguiente compresión de los materiales depositados con mayor desarrollo del fenómeno en las capas superiores (costras), y menor en los materiales subyacentes. La profundidad máxima de los sedimentos puede alcanzar valores cercanos a 500m, de acuerdo con los estudios de INGEOMINAS, al pasar cerca de la localidad de Funza, y se hipotetiza que ese espesor se reduce posteriormente hasta arribar a Cartagenita en donde aparece un afloramiento de la Formación Labor que forma parte del Grupo Guadalupe, conformada por areniscas tiernas y lodolitas, en el cual se ha cortado el macizo para conducir el corredor hasta la ciudad de Facatativá.

4.3.2 Geotecnia

El estudio geotécnico adelantado en el marco del presente proyecto se adelantó, con el fin de complementar la información existente en el estudio de Factibilidad.

Se adelantó una exploración complementaria del subsuelo, por medio de excavación directa de apiques con pruebas de Cono ligero de Penetración Dinámica y recuperación de muestras para pruebas de clasificación y de capacidad relativa de soporte (CBR).

Adicionalmente, se consideró necesario adelantar exploración profunda complementaria en los sitios de ponedero de mayor importancia, con el propósito de mejorar la información de resistencia y deformabilidad de los perfiles, así como su posible comportamiento ante eventos especiales. Para cumplir con esta necesidad se decidió ejecutar perforaciones directas con piezocono, en los sitios principales de ponedero.

De otra parte, se consideró que se requería incluir información sobre la geotecnia de las vías de acceso y sobre la disponibilidad de materiales térreos apropiados para la construcción. Este aspecto se cubrió

con la ejecución de apiques directos, pruebas de cono dinámico ligero (PDC) y recuperación de muestras para ensayos de clasificación y de CBR en el laboratorio.

4.3.2.1 Trabajo de campo

Para la exploración complementaria del subsuelo del proyecto, en la etapa de estructuración integral, se tuvieron en cuenta 36 (treinta y seis) puntos de exploración, con 5 (cinco) puntos ejecutados con piezocono en los sitios especiales de pondeadero, 15 (quince) puntos de exploración para accesos vehiculares e intersecciones, por excavación de apiques, y 16 (dieciséis) puntos de exploración con apiques en corredor de derecho de vía existente, los cuales aportan información valiosa para la caracterización del corredor en estudio.

Tabla 7. Resumen de piezoconos para caracterización complementaria de fundación de puentes

APIQUE	LATITUD	LONGITUD	NUMERO ENSAYOS DISIPACIÓN	PROF. AP+SONDEO (M)
PZ-01	4°37'33.87"	-74°05'31.07"	1	1.10+30.86= <u>31.9</u> <u>6</u>
PZ-02	4°38'40.97"	-74°06'36.54"	1	0.80+38.66= <u>39.4</u> <u>6</u>
PZ-03	4°39'20.07"	-74°07'13.44"	1	0.8+34.18= <u>34.98</u>
PZ-04	4°39'42.00"	-74°07'35.04"	1	1.20+40.69= <u>41.8</u> <u>9</u>
PZ-05	4°41'54.80"	-74°10'05.42"	1	1.40+46.79= <u>48.1</u> <u>9</u>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Resumen de apiques para caracterización de intersecciones con el corredor férreo.

APIQUE	LATITUD	LONGITUD	NUMERO DE MUESTRAS	PROF. (M)
AP-ACC-03	4°41'38,52"	-74°09'36,95"	3	1.50
AP-ACC-04	4°41'58,39"	-74°10'53,03"	3	1.50
AP-ACC-05	4°41'58,12"	-74°10'57,18"	4	1.50
AP-ACC-06	4°41'57,60"	-74°11'05,16"	3	1.50
AP-ACC-07	4°41'56,72"	-74°11'15,78"	2	1.50
AP-ACC-08	4°41'56,63"	-74°11'22,17"	4	1.50
AP-ACC-09	4°41'55,18"	-74°11'38,06"	4	1.50
AP-ACC-10	4°41'55,06"	-74°11'42,78"	3	1.50
AP-ACC-11	4°41'53,61"	-74°12'05,78"	1	1.50
AP-ACC-12	4°42'25,28"	-74°13'44,11"	6	1.50
AP-ACC-13	4°44'10,79"	-74°15'59,18"	3	1.50

APIQUE	LATITUD	LONGITUD	NUMERO DE MUESTRAS	PROF. (M)
AP-ACC-14	4°47'03,57"	-74°19'56,66"	3	1.50
AP-ACC-15	4°47'44,95"	-74°20'38,22"	1	1.50
AP-ACC-16	4°48'10,75"	-74°20'54,19"	2	1.50
AP-ACC-17	4°48'17,09"	-74°21'01,19"	2	1.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resumen de apiques para caracterización de corredor férreo

APIQUE	LATITUD	LONGITUD	NUMERO DE MUESTRAS	PROF. (M)
AP-CORR-01	4°37'00,51"	-74°04'58,55"	2	1.50
AP-CORR-02	4°37'16,77"	-74°05'13,99"	4	1.50
AP-CORR-03	4°37'37,08"	-74°05'34,09"	2	1.50
AP-CORR-04	4°38'23,69"	-74°06'19,32"	4	1.50
AP-CORR-05	4°38'47,25"	-74°06'43,94"	5	1.50
AP-CORR-06	4°39'16,79"	-74°07'10,03"	3	1.50
AP-CORR-07	4°39'54,56"	-74°07'47,33"	3	1.50
AP-CORR-08	4°40'25,36"	-74°08'16,94"	3	1.50
AP-CORR-09	4°41'32,08"	-74°09'24,18"	2	1.50
AP-CORR-10	4°42'00,62"	-74°10'28,94"	3	1.50
AP-CORR-11	4°41'52,82"	-74°13'00,58"	1	1.50
AP-CORR-12	4°44'15,21"	-74°16'05,84"	3	1.50
AP-CORR-13	4°46'00,68"	-74°18'36,30"	2	1.50
AP-CORR-14	4°47'03,10"	-74°19'55,48"	3	1.50
AP-CORR-15	4°47'22,91"	-74°20'17,60"	1	1.50
AP-CORR-16	4°48'14,07"	-74°20'58,92"	2	1.50

Fuente: Elaboración propia

Los apiques en el corredor se localizaron con dos propósitos fundamentales. En primer lugar, la caracterización de la subrasante, en relación con su identificación, clasificación y propiedades mecánicas y, en segundo lugar, la identificación de los materiales en las áreas adyacentes a la línea férrea actual, pero dentro del mismo corredor, que se usarían para construir las líneas del nuevo sistema ligero. La exploración no tuvo por objeto caracterizar la subestructura actual, lo cual además no era posible dadas las restricciones impuestas en relación con la seguridad de los trabajos y la conservación de la operatividad del actual corredor.

El nivel freático es relativamente superficial. A partir de la observación de las perforaciones y sondeos, se considera que está situado entre 2 y 8 metros en el momento de la exploración complementaria del subsuelo, dependiendo del sitio. Se señala que la actividad de perforación se realizó en época de poca

pluviosidad. En el Anexo Informe de geotecnia, en los perfiles detectados con el piezocono se observa el nivel freático detectado en cada uno de los sondeos con piezocono.

Ramal Metro:

Para el ramal metro se contó con la exploración del subsuelo ejecutada para los estudios de pavimento de los tramos recientemente rehabilitados sobre el corredor y en algunos tramos cercanos y la ejecución de auscultación con Deflectómetro de Impacto.

La exploración y muestreo del terreno se usaron apiques disponibles excavados en el corredor por la empresa AUSCULTAR (2018), ejecutados de acuerdo con la normatividad vigente en el IDU y el INVIAS, orientados a determinar la naturaleza de los pavimentos actuales, y las propiedades mecánicas de la subrasante, con el fin de identificar los espesores y propiedades de las capas que los conforman, además de las características de la subrasante. El informe es propiedad de la Alcaldía Menor de Mártires.

Los apiques, están referenciados por coordenadas levantadas por equipo manual GPS. La profundidad de las exploraciones fue de 1.50 m (obteniendo muestras de acuerdo con la estratigrafía presentada y con las condiciones geotécnicas del sitio). La exploración del subsuelo, en el estudio de la referencia, está orientada a la caracterización de la naturaleza de los materiales presentes en el perfil de pavimento, ejecución de pruebas de campo de índices de resistencia con el cono de penetración dinámica (PDC), y recuperación de muestras para pruebas de laboratorio (Pruebas de identificación y clasificación y ensayos de capacidad de soporte para pavimentos, CBR).

Se contó con los resultados de dos apiques sobre el corredor, ejecutados en los tramos: Calle 22 entre Carrera 18 y 18A (CIV 140000278); Calle 22 entre Carrera 18A y Diagonal 22 Bis (CIV14001760); (apiques 2 y 3) y un apique más en área cercana. Se advierte que la composición estratigráfica de los pavimentos en los apiques citados pierde interés para el análisis de las nuevas estructuras, dado que la exploración se ejecutó antes de la rehabilitación de los tramos intervenidos por la Alcaldía Local. Sin embargo, lo conserva en la revisión del conjunto, tratando de determinar cuál es la composición general de los pavimentos de la zona y en las pruebas de identificación y caracterización mecánica de la subrasante. En igual sentido se manifiesta esta asesoría en relación con la caracterización comparativa, en función de las auscultaciones con deflectómetro dinámico.

Así mismo, se dispuso de mediciones de deflexión en el mismo sector de los dos apiques de la Calle 22, antes de su intervención, todo esto como información secundaria reciente. También se contó con las medidas de deflexión a lo largo de todo el corredor, cada 100m, ejecutadas en el marco de este estudio de Estructuración.

De acuerdo con los apiques disponibles, las estructuras típicas de pavimento en la zona del Ramal Metro, a lo largo del corredor, tendrían espesores totales en el orden de 0,80m, compuestas por 12cm de concreto asfáltico sobre materiales granulares de características marginales, típicas de recibos bogotanos muy descompuestos y meteorizados que se usaron antes como capas de base y subbase. La subrasante, en toda el área evaluada, es la arcilla limosa típica de la Sabana de Bogotá. presenta valores de CBR en muestra inalterada y después de inmersión, entre 1,9 y 2,1%. En los mismos tramos en donde estos apiques se ejecutaron, la nueva estructura de pavimento, recientemente construida, cuenta con espesor de concreto asfáltico de 12 y 15cm de concreto asfáltico, sobre 22 y 20cm de base granular,

25 cm de subbase y 30cm de mejoramiento con rajón, para espesores totales de 89 y 90cm, colocada, de acuerdo con el diseño, para tránsito entre 1,6 y 2,0 x 10⁶ ejes equivalentes de 8,2t en 10 años.

La evaluación de la capacidad estructural de un pavimento existente puede investigarse mediante la medición de deflexiones, a partir de las cuales se obtienen las variables fundamentales para el diagnóstico, análisis y/o diseño de la estructura de pavimento en un periodo de análisis determinado.

Como parte de la caracterización estructural de los pavimentos del ramal metro, se llevó a cabo una campaña de mediciones con deflectómetro de impacto (FWD por su sigla en inglés: Falling Weight Deflectometer), de tal manera que se llevó a cabo la toma de las mediciones de deflexión.

La auscultación estructural a partir de mediciones de deflexiones realizadas en el corredor, proporciona un conocimiento del estado del pavimento, a partir de su comportamiento estructural, y permite realizar el diagnóstico para establecer las actividades de mantenimiento periódico o intervenciones necesarias para conservar los estándares de calidad exigidos.

El análisis estructural del pavimento se realizó ágilmente mediante la utilización del deflectómetro de impacto FWD Dynatest 8002. El equipo permite aplicar una carga estandarizada sobre la estructura y determinar el cuenco completo de deflexiones. Posteriormente, por retrocálculo se determinan las variables estructurales del pavimento existente. Las mediciones de deflexión en el proyecto se llevaron a cabo cada 100 metros/ calzada, aproximadamente.

4.4 SUPERESTRUCTURA DE VÍA

Como fue planteado por el originador y confirmado por el estudio específico de geotecnia, la infraestructura existente está muy deteriorada. Su estado no permite considerar que se puede recuperar algo de la estructura existente; entonces, esta estructuración técnica considera una sustitución completa de:

- la superestructura existente de la vía sencilla (rieles, travesías, balasto)
- las camadas de plataforma o del suelo soporte por debajo de la vía existente.

4.4.1 Solución Adoptada

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

- En Bogotá:
 - El ramal metro de tipo tranviario con curvas de radio pequeño (aprox. 30m) compatibles con una velocidad hasta 30 km/h.
 - En el derecho de vía existente con velocidades entre 50 km/h y 70 km/h.
- En las afueras del perímetro urbano, un antiguo trazado ferroviario lineal con una velocidad de diseño que alcanza 100 km/h.
- Gran concentración de cruces viales

- Estaciones con cruces peatonales
- La posibilidad de tener una vía verde en los sectores urbanos
- Los datos climáticos, con lluvias importantes.

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

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

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

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

4.4.2 Diseño general de la superestructura de vía

La función esencial de la vía férrea es asegurar la continuidad mecánica de la pista de rodadura que soporta el material rodante, en las condiciones de seguridad máximas, de confort satisfactorio y de duración óptima. Además, la vía debe garantizar el retorno de la alimentación eléctrica y, por tanto, debe presentar un aislamiento determinado con respecto a la tierra.

La vía igualmente debe adaptarse a las exigencias de la inserción del sistema de transporte. Debe integrarse en el medio ambiente y permitir todas las creaciones de paisaje urbano de calidad.

Las hipótesis de dimensionamiento de la superestructura de la vía se derivan de tener en cuenta los elementos siguientes:

- Velocidad de diseño,
- Carga por eje del material rodante para operación comercial, pero también de los dispositivos/materiales usados para mantenimiento y construcción,
- Duración de operación para el sistema de transporte, duración de la concesión y condiciones de retrocesión.

4.4.3 Plataforma ferroviaria de vía en placa

4.4.3.1 Diseño

Fue considerado una vía en placa diseñada con travесías bloque en concreto postensado apoyando los rieles.

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

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

Para la vía en placa:

- el tipo de riel es el carril de garganta tipo 41GP13 o Ri54G2.
- Las travесías propuestas son del tipo bloque en concreto armado pretensado con una altura reducida a fin de optimizar los espesores de concreto para las capas de soporte.
- Los bloques están pre-equipados con insertos para la utilización de tornillos de ajuste altimétrico y de tira para el ajuste del trazado.

4.4.3.2 Revestimientos y tratamiento de intersecciones

El montaje de la vía en placa como descrito encima ofrece la posibilidad de diferentes tipos de revestimiento: asfalto, pavimentos, césped, balasto, piedras, etc. La elección del tipo de revestimiento depende del contexto y de los objetivos de inserción urbana (en el contexto del proyecto Regiotram, tramos semi-urbanos y urbanos) pero también de los objetivos de uso de la plataforma.

Por ejemplo, el tratamiento de las intersecciones es un punto clave muy especial porque la plataforma tiene que ser diseñada para resistir también a los esfuerzos transversales generados por la circulación vial: coches y tráfico pesado de carga (camiones). Como indicado en la figura siguiente, se propone un reforzamiento en concreto armado de los cruces viales:

- Todos los cruces del ramal metro,
- Carrera 50 pk 4+150
- Carrera 68d pk 6+300
- Avenida Ciudad de Cali pk 8+900
- Carrera 100 pk 10+550

4.4.4 Plataforma ferroviaria de vía en balasto

4.4.4.1 Principios de diseño de la vía en balasto

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

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

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

Para la vía de balasto, fueron considerados:

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

4.4.4.2 Balasto

Se conoce como balasto la grava o piedra triturada que, formando una capa, se extiende sobre la explanación de una vía férrea para asentar sobre ella y sujetar las traviesas que soportan los rieles o carriles. Para este uso concreto, se requieren rocas resistentes al desgaste por abrasión y al ataque químico, para poder resistir el desgaste y la degradación resultado del efecto de martilleo producido por el tráfico ferroviario.

El objetivo de su uso es el de proporcionar un soporte estructural y drenante lo suficientemente estable como para mantener la alineación de la vía con un mínimo de mantenimiento.

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

Los requisitos mínimos son:

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

4.4.4.3 Drenaje

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

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

- Granulometría y compactación garantizando la impermeabilización,
- Calidad en la ejecución de la pendiente transversal.

4.4.4.4 Fijación de los rieles

Los elementos constitutivos del sistema de fijación de los rieles son accesibles lo que facilita las operaciones de vigilancia y, si es necesario, las operaciones de cambio de algunos de ellos.

4.4.4.5 Revestimientos y tratamiento de intersecciones

La característica no fijada de la vía en balasto y la necesidad y frecuencia del mantenimiento perjudican las posibilidades de colocar revestimientos en línea. El revestimiento no es posible para los aparatos de vía por causa de los elementos móviles y de la necesidad de controlar, vigilar, arreglar los elementos de fijación.

Entonces, en caso de cruce vial, hay dos posibilidades:

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

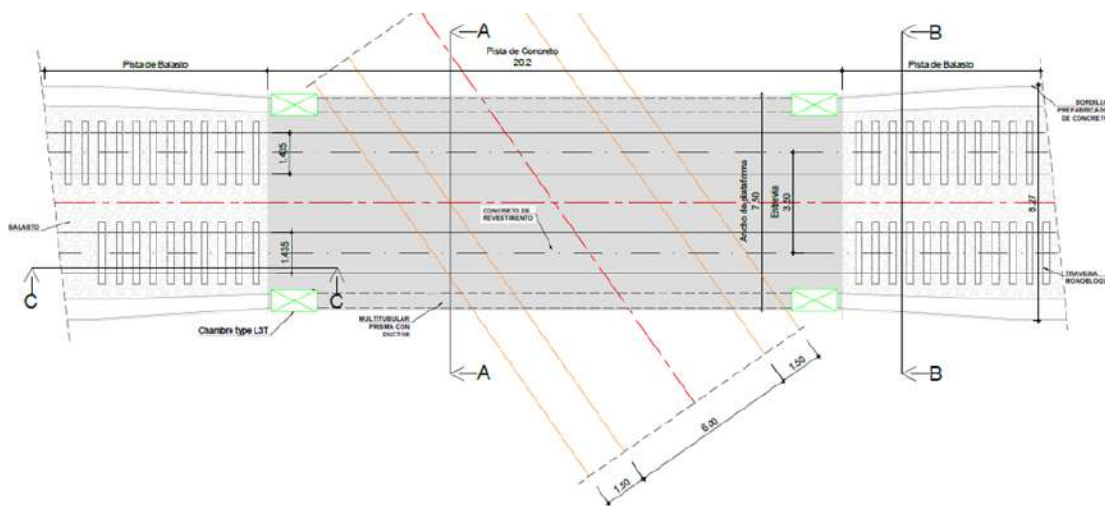
Ilustración 26: Ejemplo de elementos modulares en caucho o en concreto



Fuente: Elaboración propia – Tranvías de Nantes y Lyon (Francia)

- La vía cruza un eje importante de circulación con tráfico pesado elevado; en este caso, es preferible modificar la estructura de la vía: pasar puntualmente a una vía en placa en lugar de balasto. De hecho, las circulaciones viales impactarían demasiado la vía en balasto lo que generaría muchas correcciones de geometría, mantenimiento demasiado frecuente, y cerramiento del eje vial: las intersecciones correspondientes son listadas en el capítulo de las intersecciones con vía en placa, sin embargo, en la siguiente etapa se deberá evaluar el tráfico de todas las intersecciones dadas las condiciones de la zona que atraviesa el corredor férreo.

Ilustración 26: Principio de cruce vial por la infraestructura ferroviaria con modificación del tipo de vía: placa / balasto



Fuente: Elaboración propia

Si el montaje de vía fue realizado correctamente y que las capas de cimentación (suelo soporte, capa de forma, sub-balasto) fueron realizadas y compactadas para cumplir los requisitos definidos, en el caso de tren ligero, las cargas por eje siendo moderadas, es posible considerar el revestimiento de las vías de balasto. Como es mostrado en las fotos abajo, esta disposición ya fue implementada en algunos casos de tren ligero, por ejemplo, en Francia. Notar que, en este caso, solo se puede usar revestimientos ligeros tipo piedras, césped natural o sintética.

Ilustración 26: Ejemplo de revestimiento de vía en balasto con piedras y césped sintética



Fuente: Elaboración propia – Tranvía de Nantes (la Beaujoire) en Francia

Ilustración 26: Ejemplo de revestimiento de vía en balasto con césped natural



Fuente: Elaboración propia – Tranvía y tram-tren de Lyon (T3/Rhonexpress) en Francia

4.4.4.6 Sección tipo en balasto

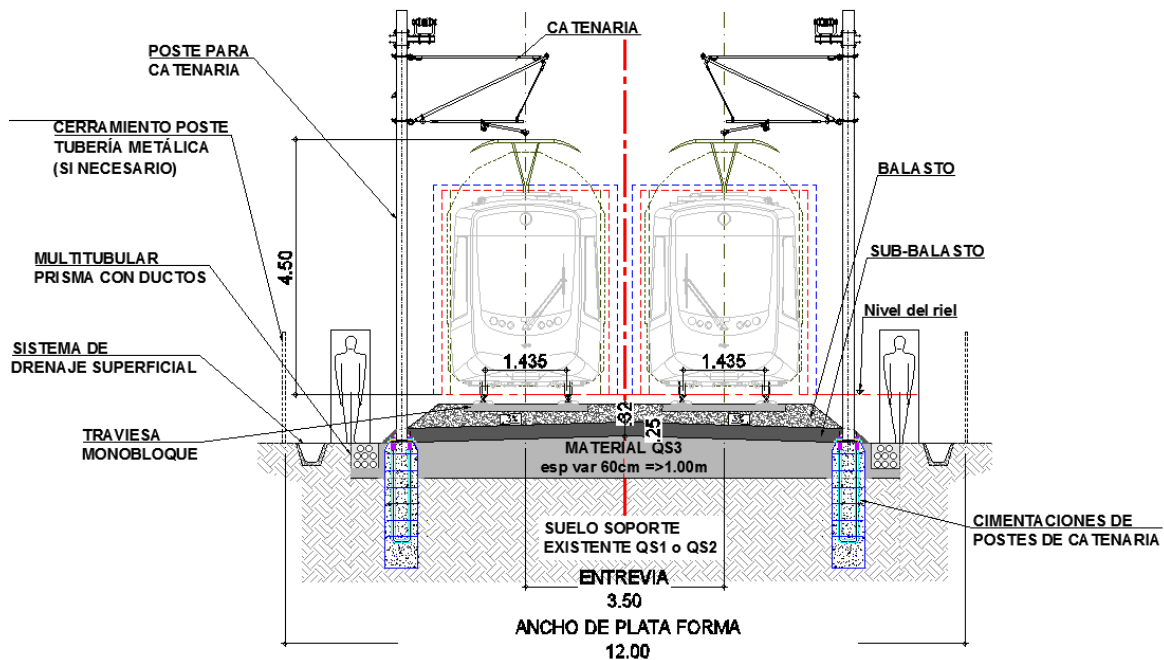
Para el proyecto Regiotram, fueron propuestos dos tipos de vía en balasto lo que permite adaptarse a las condiciones de inserción urbana del proyecto.

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

4.4.4.6.1 Sección tipo en balasto normal

Este tipo de vía corresponde a vías de balasto clásico. Es muy frecuente tenerlo para sistemas ferroviarios más pesados, pero puede adaptarse para sistemas más ligeros, por ejemplo, en contextos suburbanos donde se puede usar más espacio para el ancho de plataforma (aprox 11m) y donde las intersecciones viales son menos frecuentes.

Figura 14. Sección tipo de vía de balasto clásico

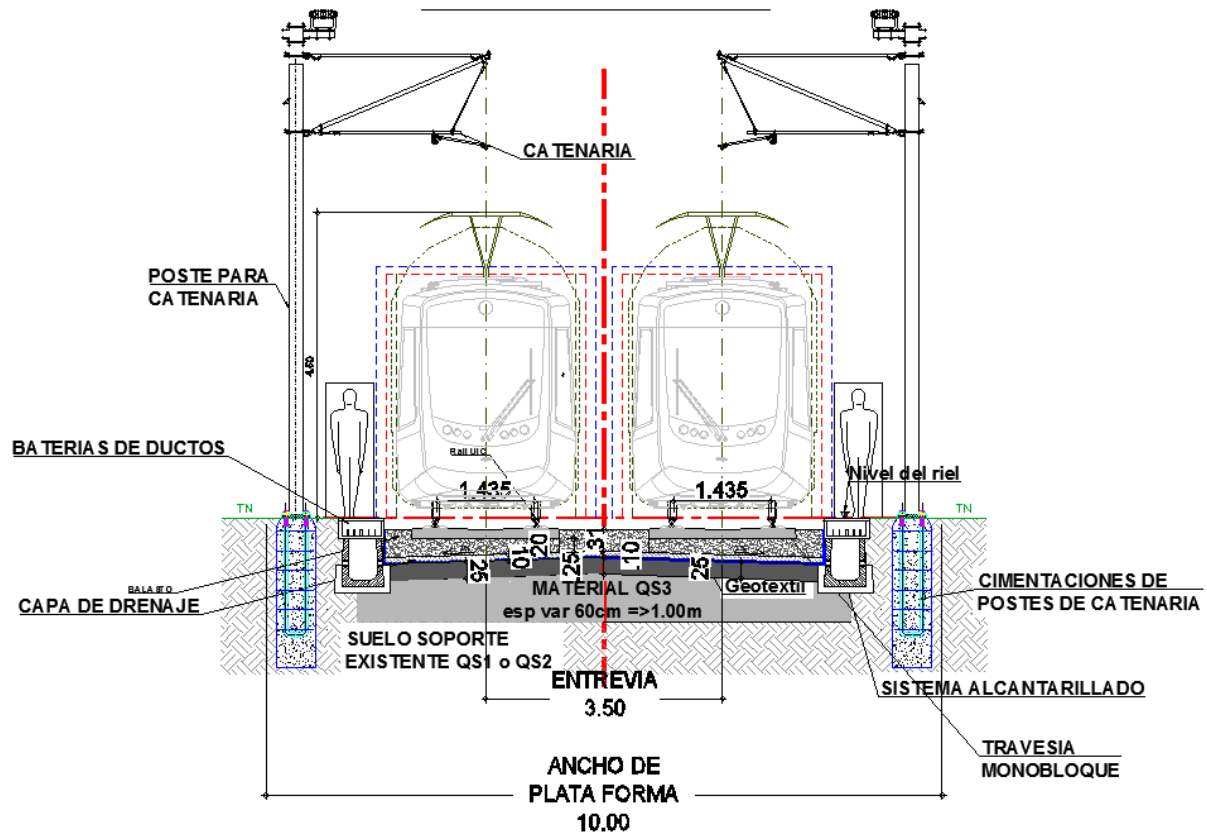


Fuente: Elaboración propia

4.4.4.6.2 Sección tipo en balasto enmarcado

Este tipo de vía está adecuada con contextos urbanos y semi-urbanos. La plataforma en balasto enmarcado es un compromiso entre la vía en placa y la vía en balasto «normal»: ofrece un ancho intermedio de aprox 9m y un costo también intermedio.

Figura 15. Sección tipo de vía de balasto enmarcado



Fuente: Elaboración propia

4.4.5 Plataforma ferroviaria de vía directamente sellada

4.4.5.1 Principios de Diseño

La fijación directa permite anclarse directamente en el tablero de viaductos o en la losa de una estructura enterrada. El principio de fijación mediante sillas permite limitar la carga que debe soportar la estructura al tiempo que ofrece a la vía las características mecánicas y geométricas deseadas.

Ilustración 26: Ejemplo de fijación directa en tablero de viaducto



Fuente: Elaboración propia

4.4.5.2 Tipo de riel

Dependiendo de la ubicación de la estructura considerada, el perfil de riel podrá ser:

- Perfil 41GP R13 o Ri 54G2.
- Perfil de riel 50E6.

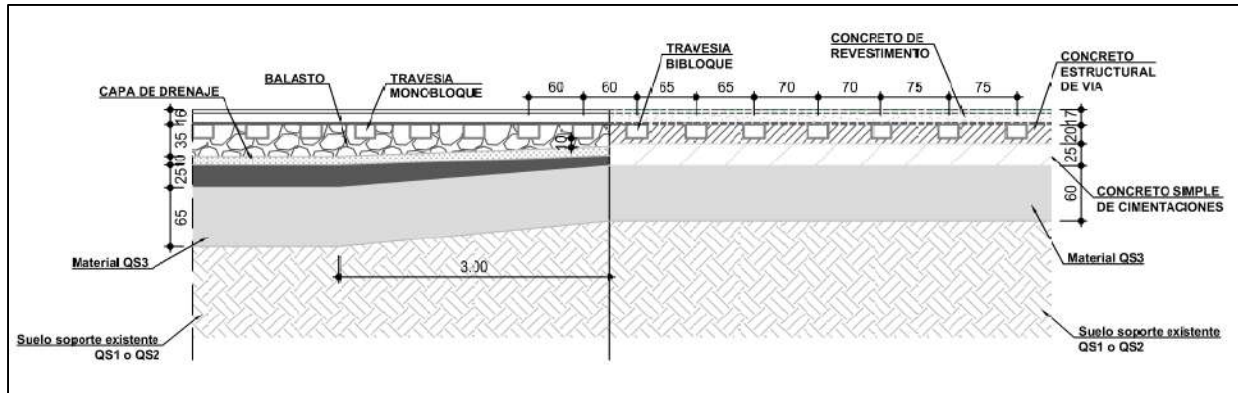
4.4.6 Transiciones de tipo de estructura de vía

Los cambios en la estructura de la vía requieren un cuidado especial para tener en cuenta los cambios en la rigidez. El reto es mantener la geometría a lo largo del tiempo y, por lo tanto, el confort, a la vez que se reduce la necesidad de un mantenimiento regular.

La transición de rigidez entre plataforma con vía en balasto y plataforma con vía en placa, consiste en añadir una losa de transición debajo del balasto, según el esquema siguiente.

El principio de transición es el siguiente:

Figura 16. Transición placa – balasto



Fuente: Elaboración propia

4.4.7 Sección por tramos

Teniendo en cuenta el contexto, se recomienda tener diferentes tipos de vía, así:

- Una vía en placa, integrada en la calzada o vía segregada con pavimento urbano, utilizando un carril “tranviario” (de garganta). Permite diseñar curvas de radio pequeño asegurando operaciones de mantenimiento mínimas y también limitar la franja necesaria para la implementación del sistema.
- Una vía en balasto para los tramos suburbanos; la vía está parecida a una vía de tipo ferroviario con carril “Vignole” en balasto, que permite velocidades mayores cuando discurre como un tren suburbano.
- Una vía intermediaria en balasto enmarcado cuando el contexto es urbano/semi-urbano.
- Una fijación directa del carril (que sea de garganta o de tipo Vignole) en placa (con sillas) para todos los viaductos ferroviarios.

Con este diseño, se puede reducir el número de transiciones entre los dos tipos de riel: solamente 2 transiciones al PK 3+500 y al PK 35+780, aproximadamente.

Habrán también 22 transiciones de plataforma entre balasto y placa. La Tabla 6. Definición plataforma por tramo presentada en el numeral 4.2.7 Anchos de plataforma en tramo recto, presenta el concepto general de implantación de la vía y sus características sin tener en cuenta los cruces viales, los viaductos y puentes, ni las estaciones que serán objeto de definición aparte.

4.4.8 Aparatos de Vía

Es necesario disponer aparatos de vía para dar acceso y servicio a las distintas vías habilitadas para garantizar la explotación y funcionamiento del corredor. Estos aparatos se disponen según el esquema

del plano de vía en el corredor, en la proximidad de las estaciones, así como en los accesos a las instalaciones de talleres y cocheras.

4.4.9 Dispositivos Especiales

4.4.9.1 Cruce de la línea de carga

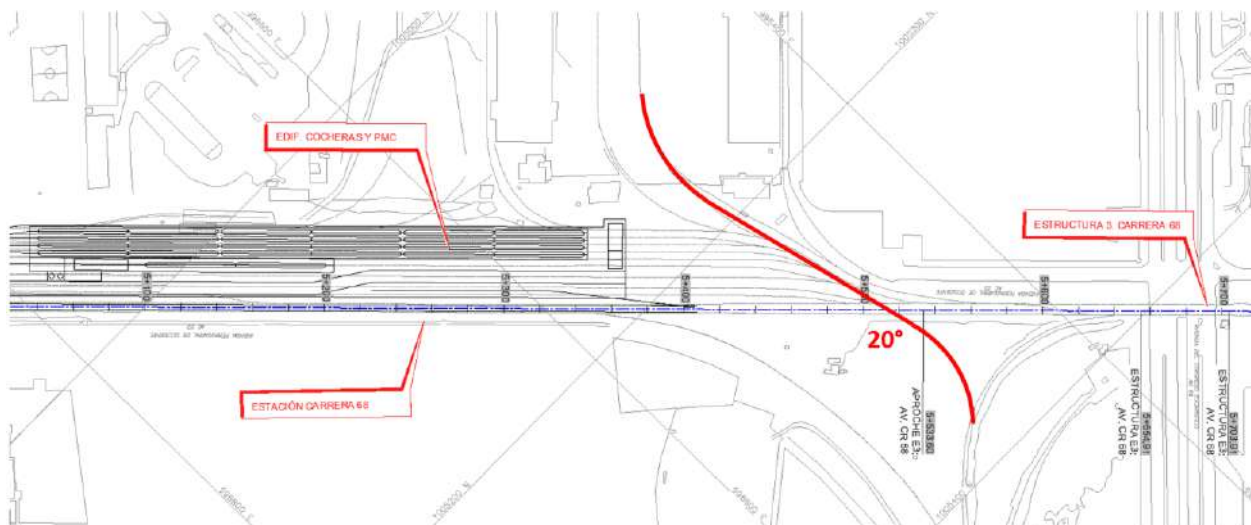
En el marco del proyecto Regiotram de Occidente, se estudió la posibilidad de un cruce a nivel de la plataforma por la línea de carga existente, no electrificada, de estructura balastrada, de vía única y de ancho métrico, localizado en el PK 05+440, el cual fue solicitado a raíz de la comunicación recibida de la ANI, de 26/06/2017, con Nr: 2017-200-020135-1, y considerando que para la ANI el tramo Bogotá-Belencito representa un corredor de carga estratégico para el país en el cual se han realizado inversiones importantes para su recuperación con el propósito de reactivar la operación en el corto plazo.

Sobre este cruce es importante anotar que hasta la fecha no existe ningún sistema de señalización de la línea de carga, salvo la señalización de la intersección barricada de la Carrera 68 controlada por un operador desde una cabina. Los aparatos de vía se maniobran manualmente.

4.4.9.1.1 Propuesta alternativa del estructurador

Como alternativa se propone un cruce con una configuración (línea roja) con ángulo de aprox 20° entre las 2 infraestructuras ferroviarias:

Figura 17. Alternativa propuesta para el cruce



Fuente: Elaboración propia

Entendemos que esta alternativa, que modifica el trazado de la línea férrea de carga, se desarrolla dentro de los predios de INVIAS, pero mejora la restricción operacional de velocidad para el Regiotram

a 50 km/h (existen aparatos de vía en el mercado que permiten esta velocidad con un ángulo de cruce de 20°).

Esto tendría una mayor inversión, porque se tendría que construir la nueva vía sencilla de carga en aproximadamente 400m.

En la siguiente etapa del proyecto, en ingeniería de detalle se requerirá definir por parte del operador de carga o la ANI:

- Longitud de trenes
- Frecuencia y horario de operación
- Velocidad de operación
- Carga por eje
- Numero de ejes del tren de carga
- Perfil de las ruedas del tren de carga


4.5 HIDROLOGÍA Y DRENAJE

Se desarrolló dentro de las actividades complementarias los estudios de hidrología que incluyó el estudio climatológico, de precipitación, evaporación, viento, temperatura, humedad relativa, brillo solar, clasificación climática, curvas IDF y Cuencas de los ríos que cruza el proyecto (Río Botello; Río Checua, Río Subachoque, Canal San Francisco y Río Bogota).

Como resultado de este estudio y de acuerdo con el tipo de plataforma se desarrolló la solución de drenaje.

En la tabla siguiente se presentan los tipos de cunetas propuestos para el corredor férreo con superestructura con balasto, con su respectiva información de velocidad, caudal lleno y pendiente.

Tabla 10. Esquema y características del diseño de las cunetas

TIPO DE CUNETA	PENDIENTE (%)	V _{LLeno} (m/s)	Q _{LLeno} (m ³ /s)
 <p>CUNETA TIPO I ESCALA 1:25</p>	0.25	0.76	0.048

TIPO DE CUNETETA	PENDIENTE (%)	V _{Lleno} (m/s)	Q _{Lleno} (m ³ /s)
<p>CUNETETA TIPO II ESCALA 1:25</p>	0.16	0.76	0.086
<p>CUNETETA TIPO III ESCALA 1:25</p>	0.12	0.79	0.169
<p>CUNETETA TIPO IV ESCALA 1:25</p>	0.10	0.78	0.245

Fuente: Elaboración Originador

Para el tipo de plataforma con balasto enmarcado; en la siguiente figura se presenta el esquema del "canal" longitudinal propuesto, el cual tiene una sección típica de 50 cm de altura y un ancho 40cm.

En la siguiente tabla se presenta un cuadro resumen de las obras de drenaje con respecto al tipo de plataforma propuesto por el estructurador.

Tabla 11. Resumen obras de drenaje

TIPOLOGIA PLATAFORMA	ANCHO FAJA (m)	CLASE	LONGITUD DE TUBERIA (m)
Placa en concreto	8	Tubo D300	395
	12		350

TIPOLOGIA PLATAFORMA	ANCHO FAJA (m)	CLASE	LONGITUD DE TUBERIA (m)
Balasto	12	Cuneta tipo I	350
		Cuneta tipo II	350
		Cuneta tipo III	
		Cuneta tipo IV	
Balasto enmarcado	10	Canal o Box Coulvert	2175

Fuente: Elaboración propia

4.6 MATERIAL RODANTE

El material rodante que se definió a partir de las necesidades de demanda y características propias del proyecto. Con base en lo anterior se definen las siguientes características:

- **Galibo:** MR de 2,65m de ancho
- **Longitud:** 50m
- **Unidades posibles:** UM2
- **Nivel de tensión de tracción:** 1500Vcc
- **Velocidad Máxima permitida:** Entre 70 y 100 km/h
- **Capacidad:** Layout configurado para conseguir capacidad de 884 pasajeros en su configuración máxima / en EL6
- **Bogíes:** Pivotantes
- **NMV<2,5:** en todas condiciones de carga
- **El cambio al peralte:** 4 por millas
- **Perfiles Ruedas y rieles:** según normas europeas
- **Distancia entre ruedas:** al interior 1380mm
- **Suspensión:** suspensiones primaria y secundaria
- **Jerk:** según normas europeas
- **Piso bajo:** al mínimo a 70%
- **El radio de curvas mínimo:** 25m
- **El peralte no compensado:** máximo 1m/s² en y en servicio normal 0.65m/s²
- **Aceleración máxima** 1.1 m/s²
- **Aceleración media 0-100km/h** 0.6 m/s²
- **Numero de puertas:** > 1 / 10m de vehículo
- **Longitud de puertas** > 150 cm / 10 m de vehículo
- **Porcentaje de asientos / capacidad total:** > 15%

4.7 ANÁLISIS DE INTERSECCIONES

A partir de la propuesta del estudio del originador se ejecutó un análisis a las intersecciones a nivel y desnivel a lo largo del corredor férreo destinado para el Regiotram de Occidente, donde se evaluó la viabilidad de los cruces y se mencionan las premisas contempladas para el sistema férreo.

En general, se contemplan dos tipos de soluciones:

- Cruces a desnivel (Interferencia con sistema Bus Rapit Transit - BRT de Transmilenio)

- Cruces a nivel
 - Vehicular (51)
 - Peatonal (4)
 - Cruces peatonales en estaciones

4.7.1 Cruces con Troncales de Transmilenio

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

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

4.7.2 Cruces a nivel

Luego de estudiada la propuesta de cruces por parte del Originador y del análisis del entorno por el cual discurre el Regiotram de Occidente a lo largo de su trazado, en la Estructuración del proyecto se plantean los pasos a nivel que se consideran necesarios para mejorar la conectividad de la zona de influencia del corredor férreo, especialmente en la sabana de Bogotá. Así mismo, con la apertura de nuevos cruces férreos, se reduce considerablemente la longitud de las vías de servicio.

Los cruces habilitados en la Estructuración Técnica y su respectiva solución se relacionan a continuación:

Tabla 12: Localización de cruces

ABSCISA	DIRECCIÓN	CONDICIONES ACTUALES	CONDICIONES ESTRUCTURACIÓN	SISTEMA DE PROTECCIÓN	VELOCIDAD Km/h
K0+000	ESTACIÓN CALLE 26			-	30
K0+100					
K0+160	Cr 17 x CI 24	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K0+450	Cr 17 x CI 22	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K0+830	Cr 19 x CI 22	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K0+940	Cr 19A x Dg. 19A	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K1+190	Cr 22 x Dg. 19A	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K1+450	CI22 x Cr27	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K1+540	ESTACIÓN NQS (CR 30)			-	35

ABSCISA	DIRECCIÓN	CONDICIONES ACTUALES	CONDICIONES ESTRUCTURACIÓN	SISTEMA DE PROTECCIÓN	VELOCIDAD Km/h
K1+680					
K1+843	PUENTE (Paso a Desnivel, Av. Carrera 30)				50
K1+917					
K2+180	CI22 x Tv 32c	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K2+584	PUENTE (Paso a Desnivel, Américas)				70
K2+765					
K3+230	CI22 x Cr40	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K3+260	ESTACIÓN CR 40			-	35
K3+400					
K3+835	ESTACIÓN CR 50			-	35
K3+975					
K4+170	CI22 x Cr50	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K4+590	CI22 x Cr56	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K5+180	ESTACIÓN CR 68			-	35
K5+360					
K5+654	PUENTE (Paso a Desnivel, Av. Carrera 68)				60
K5+705					
K6+315	CI22 x Cr68d	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K6+916	ESTACIÓN AV BOYACÁ			-	35
K7+085					
K7+293	PUENTE (Paso a Desnivel, Av. Boyacá)				70
K7+369					
K8+340	CI22 x Cr81Bis	PEATONAL	ABIERTO	SEMAFORO	50
K8+530	ESTACIÓN AV CALI			-	35
K8+670					
K8+880	CI22 x AV CALI	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K9+180	CI22 x Cr89	PEATONAL	ABIERTO	SEMAFORO	50
K9+440	CI22 x Cr93	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K9+830	CI22 x Cr96c	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K10+080	ESTACIÓN FONTIBÓN			-	35
K10+220					
K10+270	CI22 x Cr97	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K10+540	CI22 x Cr100	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K10+770	CI22 x Cr103a	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K11+130	CI22 x Cr106	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50

ABSCISA	DIRECCIÓN	CONDICIONES ACTUALES	CONDICIONES ESTRUCTURACIÓN	SISTEMA DE PROTECCIÓN	VELOCIDAD Km/h
K11+295	CI22 x Cr108	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K11+630	CI22 x Cr111A	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K11+640	ESTACIÓN CATAM			-	35
K11+800					
K12+080	CI22 x Cr116	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K13+430	CI22 x Cr129	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K14+440	CI22 x Cr138A	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K15+960	Vía la Florida	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K16+100	ESTACIÓN FUNZA 2 LA RAMADA			-	35
K16+240					
K16+830	Parque empresarial de occidente	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K17+260	CI 25 Funza	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K17+515	Acceso Parque Industrial San Carlos 2	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K18+000	ESTACIÓN FUNZA			-	35
K18+140					
K18+190	CI 15 Funza	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K19+120	Acceso Club deportivo la Estancia	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K19+610	Acceso a ciudadela residencial	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K20+820	ESTACIÓN MOSQUERA CR 5 ESTE			-	35
K20+960					
K20+980	Vía Funza	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K21+590	Cr 3	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K21+675	ESTACIÓN MOSQUERA			-	35
K21+815					
K21+825	Cr 5	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K22+615	Acceso a Bodegas	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K24+350	Acceso a ciudadela residencial	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K24+770	ESTACIÓN MADRID 2			-	35
K24+910					
K25+320	Cr 2E	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50
K25+730	Cr 1	NIVEL	ABIERTO	SEMIBARRERA	50

ABSCISA	DIRECCIÓN	CONDICIONES ACTUALES	CONDICIONES ESTRUCTURACIÓN	SISTEMA DE PROTECCIÓN	VELOCIDAD Km/h
K26+160	Cr 5	PEATONAL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K26+320	Cr 6	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K26+340	ESTACIÓN MADRID			-	35
K26+480					
K26+870	Cr 11	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K28+720	Cruce entre predios	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K30+110	Cruce entre predios	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K30+860	Cruce entre predios	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K31+320	Cruce entre predios	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K32+250	Cruce entre predios	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K34+570	Acceso a Predio	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K35+530	Acceso a Predio	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	100
K35+800	ESTACIÓN EL CORZO			-	35
K35+940					
K35+960	Vía Facatativá-Zipacón	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K36+130	PEATONAL		ABIERTO	SEMAFORO	30
K36+460	CI 3S	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K36+660	CI 5S	NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K36+860		NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K37+240		NIVEL	ABIERTO	SEMAFORO	30
K37+800	ESTRUCTURA CAMINO (VEHICULOS)				70
K39+040	CI 1Este	NIVEL	ABIERTO	BARRERAS	70
K39+500	ESTACIÓN FACATATIVÁ			-	35
K39+660					

4.8 ESTRUCTURAS

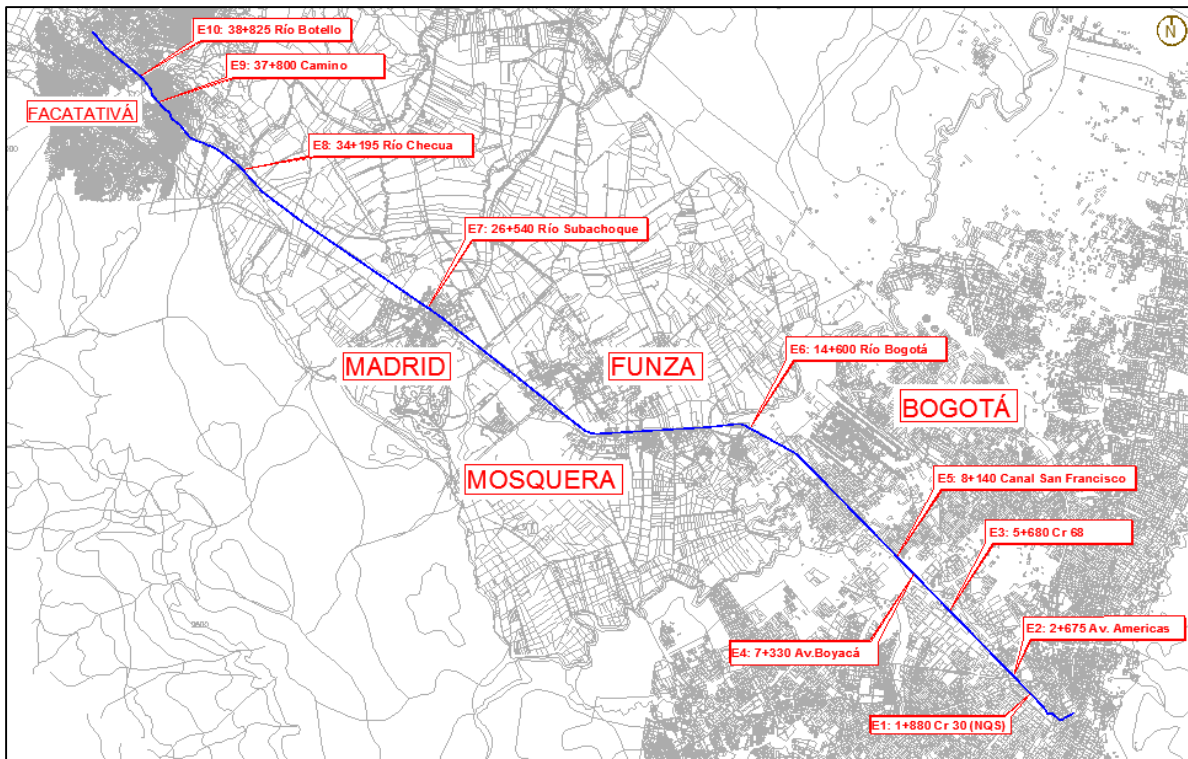
En el corredor férreo existente a lo largo de su trazado de diversas estructuras construidas para salvar los cauces de ríos y/o canales de cuerpos de agua interceptados, no existen viaducto para los cruces con avenidas en la zona urbana o suburbanas, el Originador realizó un inventario de estas estructuras las cuales se mantienen hasta el momento de la estructuración del proyecto y consideró la demolición y retiro de las mismas son:

- Cruce sobre el Canal de San Francisco – PK 8+140.
- Cruce sobre el Río Bogotá – PK 14+600
- Cruce sobre el Río Subachoque - PK 26+540.
- Cruce sobre el río Checua - PK 34+190.
- Cruce sobre la vía férrea que permite la comunicación de una carretera local con la zona urbana de la comuna de Cartagenita - PK 37+800.
- Cruce sobre el río Botello.

Se plantea la construcción de 10 puentes, donde 4 de estos son para paso a desnivel del Regiotram como se explicó en el numeral 4.7 ANÁLISIS DE INTERSECCIONES, 5 por cuerpo de agua y 1 puente para paso vehículos. En la siguiente figura se muestra la ubicación de los 10 puentes.

A continuación, se detalla la ubicación de las estructuras:

Figura 18. Estructuras Regiotram



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Ubicación Estructuras

ABSCISA	ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
K1+880	PUENTE (Paso a Desnivel, Av. Carrera 30)	PUENTE FÉRREO SOBRE VIAL	dos luces, una de 39m y otra de 33m
K2+675	PUENTE (Paso a Desnivel, Américas)	PUENTE FÉRREO SOBRE VIAL	cuatro luces, la primera de 45m y las otras dos de 39m
K5+680	PUENTE (Paso a Desnivel, Av. Carrera 68)	PUENTE FÉRREO SOBRE VIAL	dos luces, de 24m cada una
K7+331	PUENTE (Paso a Desnivel, Av. Boyacá)	PUENTE FÉRREO SOBRE VIAL	dos luces de 39m cada una
K8+140	CANAL SAN FRANCISCO	PUENTE FÉRREO SOBRE CANAL SAN FRANCISCO	una luz de 39m
K14+600	RIO BOGOTÁ	PUENTE FÉRREO SOBRE RIO BOGOTÁ	una luz de 39m
K26+540	ESTRUCTURA RIO SUBACHOQUE	PUENTE FÉRREO SOBRE RIO SUBACHOQUE	una luz de 30m
K34+190	ESTRUCTURA RIO CHECUA	PUENTE FÉRREO SOBRE RIO CHECUA	una luz de 18m
K37+800	ESTRUCTURA CAMINO (VEHICULOS)	ESTRUCTURA CAMINO (VEHICULOS)	una luz de 12m
K38+820	ESTRUCTURA RIO BOTELLO (BOJACA)	PUENTE FÉRREO SOBRE RIO BOTELLO (BOJACA)	una luz de 24m

Fuente: Elaboración propia

Los puentes ferroviarios consisten en dos vigas principales en celosía doble compuesta por perfiles en sección cajón para cordones inferior, superior, paralelos y diagonales, perfiles en sección I para vigas longitudinales y transversales.

Los puentes ferroviarios cuentan con una placa de concreto reforzado de 19 centímetros de espesor y dos andenes de 1.20 metros bajo los cuales se soportan multitubos, la catenaria, señalización, entre otros elementos.

Los puentes férreos están diseñados para dos vías de paso de trenes ligeros.

Los puentes se soportan sobre estribos/pilas en concreto reforzado cimentado en pilotes en concreto.

4.8.1 Puente Vehicular Camino

El puente está conformado por cuatro vigas principales en I actuando en sección compuesta, riostras horizontales y verticales en ángulos. El puente cuenta con una placa de concreto reforzado de 19 centímetros de espesor y dos andenes de 0.50 metros.

El puente vehicular está diseñado para dos vías de vehículo liviano y/o una vía de vehículo CCP14. El puente se soporta sobre estribos en concreto reforzado cimentado en 10 pilotes en concreto cada estribo.

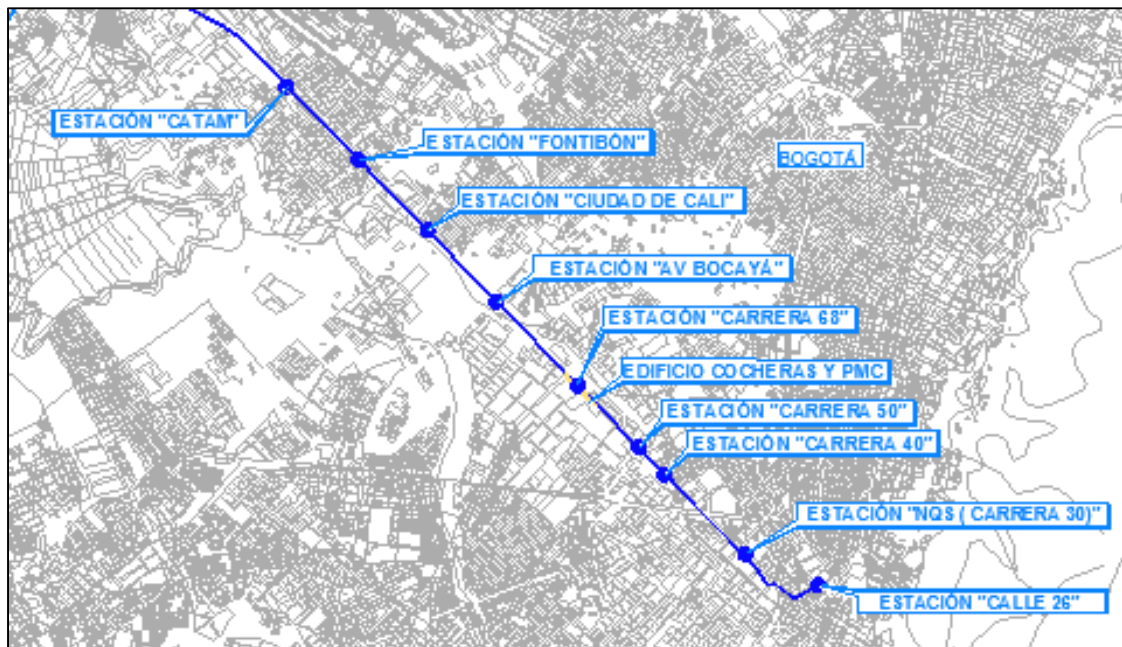
4.9 ESTACIONES

El proyecto Regiotram contempla a lo largo de su trazado 17 estaciones de pasajeros con la capacidad de asumir el número de pasajeros determinado por el Estudio de Demanda. En la Sabana se prevén 8 estaciones y en la ciudad de Bogotá 9 estaciones.

4.10 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

En la figura siguiente se presenta la ubicación de las 9 estaciones en Bogotá y en la tabla la abscisa de inicio y fin de la estación.

Figura 19. Ubicación Estaciones en Bogotá



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Estaciones de Bogotá

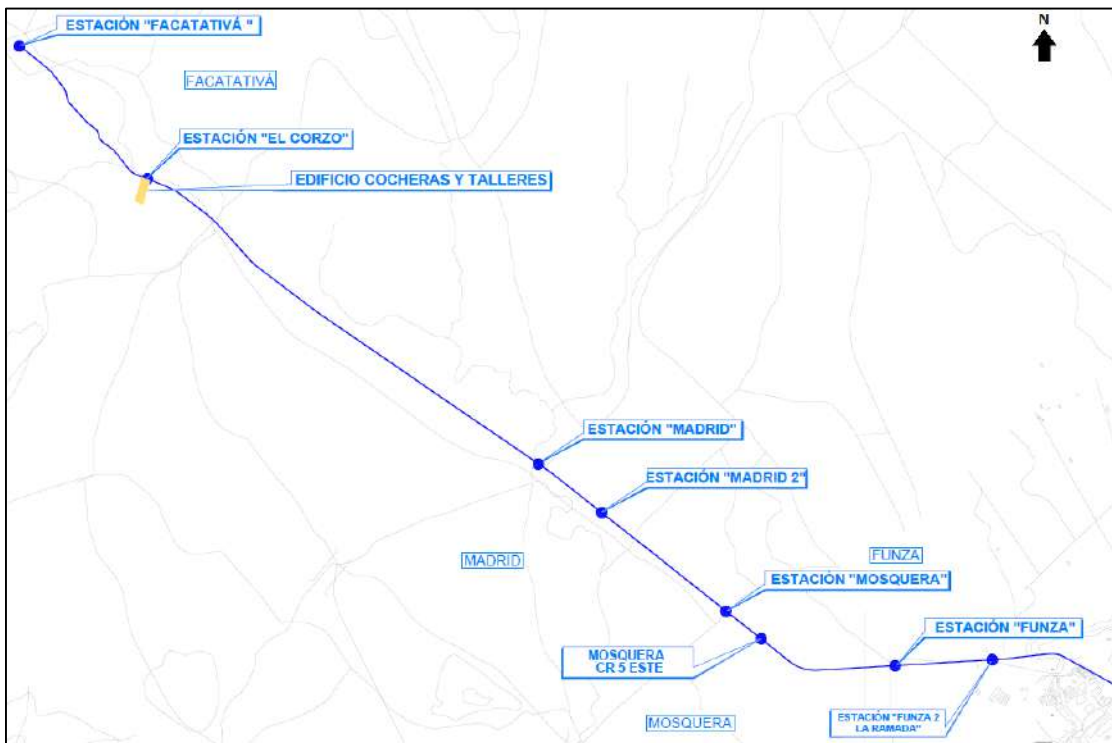
ABSCISA	ESTACIÓN
K0+00 – K0+100	Estación Calle 26
K1+540 – K1+680	Estación NQS (CR 30)
K3+260 – K3+400	Estación cra 40

ABSCISA	ESTACIÓN
K3+835 – K3+975	Estación cra 50
K5+180 – K5+360	Estación cra 68
K6+916 – K7+085	Estación Av. Boyacá
K8+530 – K8+670	Estación Av. Cali
K10+080 – K10+220	Estación Fontibón
K11+640 – K11+800	Estación Catam

Fuente: Elaboración propia

En la figura se presenta la ubicación de las 8 estaciones en la Sabana y en la tabla la abscisa de inicio y fin de la estación.

Figura 20. Ubicación estaciones en la Sabana



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Estaciones de la Sabana

ABSCISA	ESTACIÓN
K16+100 – K16+240	Estación Funza 2 La Ramada
K18+000 – K18+140	Estación Funza
K20+820 – K20+960	Estación Mosquera 5ra este
K21+675 – K21+815	Estación Mosquera

ABSCISA	ESTACIÓN
K24+770 – K24+910	Estación Madrid 2
K26+340 – K26+480	Estación Madrid
K35+800 – K35+940	Estación el Corzo
K39+500 – K39+660	Estación Facatativá

Fuente: Elaboración propia

4.11 CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTACIONES

Los criterios definidos para el diseño de estaciones son los siguientes:

Estaciones a nivel: se ha intentado evitar el uso de rampas y escaleras de aproximación a la estación a fin de facilitar el acceso a la misma, anteponiendo las necesidades del peatón a las del vehículo.

Las estaciones se plantean sistemáticamente a nivel de la vía, lo que optimiza los tiempos de acceso del viajero al tren y respeta los criterios de accesibilidad de los espacios públicos para cualquier persona de movilidad reducida.

Andén: Las estaciones tendrán andén único central o andenes doble laterales. La responsabilidad será del Concesionario con fin de optimización del proyecto. Se buscará un equilibrio entre la ubicación y el espacio disponible y el desempeño de la operación. Con el fin de dejar espacio para esas optimizaciones, el estructurador ha contemplado la posibilidad de desarrollar estaciones con andes laterales, salvo en las estaciones de fin de línea.

Accesos a la estación: Todas las estaciones disponen del equipamiento necesario para que puedan funcionar de manera unidireccional o bidireccional en función de lo que finalmente decida el operador, esto es, centralizar la entrada y salida en puntos distintos de la estación obligando a que el flujo de viajeros sea unidireccional o permitir el acceso por cualquier lado de ésta, dejando que los viajeros circulen por el andén en cualquier dirección. Un acceso bidireccional permite facilitar la conexión con el espacio público y los caminos peatonales, además permite gestionar mejor la diferencia de flujo entre la mañana y la tarde.

Control de accesos previo al acceso al vehículo: Se plantea el control de acceso previo a la entrada de los andenes, a los que ya sólo accederán pasajeros con billete. Esto conlleva el cerramiento perimetral de los mismos, y la existencia de un punto claro de acceso. Además, se localiza la taquilla y otros puntos de control.

Puertas de acceso al material móvil: Se plantea que cada estación esté dotada de un sistema de puertas que sólo se abran cuando detecten el material móvil posicionado en la estación.

4.11.1 Descripción de las estaciones

Los condicionantes que han determinado la definición geométrica de las estaciones han sido los siguientes:

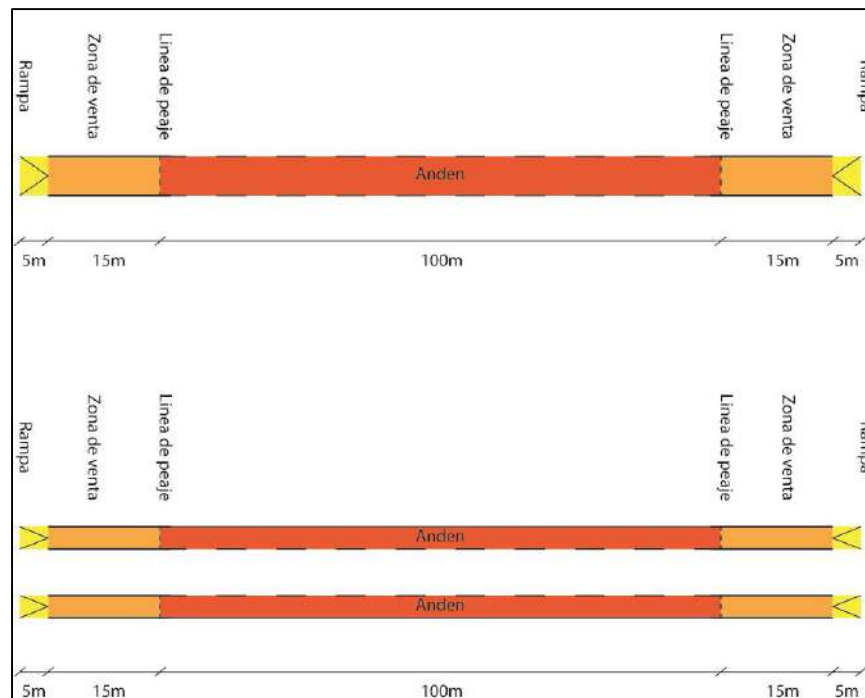
- Diseño previo del Estudio de Factibilidad.
- Capacidad de la instalación: Se han utilizado los datos de demanda desarrollados en Estudio de Demanda realizado dentro de la estructuración y tomando un escenario máximo en termino de demanda (año 2048 con integración tarifaria en Bogotá).
- Tipo de material móvil: Se consideran longitud útil de plataforma de 100m.
- Se diseñan en superficie y se integran en la urbanización existente.

Las estaciones con andenes laterales o central funcionan con entrada y salida de los dos lados para facilitar los caminos peatonales. Una rampa permite de acceder a la estación de los dos lados. Sigue una zona de venta de boletos (taquilla) y la línea de control para acceder a la plataforma.

La estación se compone de tres partes:

- Accesos / Rampas
- Zona de venta
- Anden cerrado

Figura 21. Descripción de las estaciones

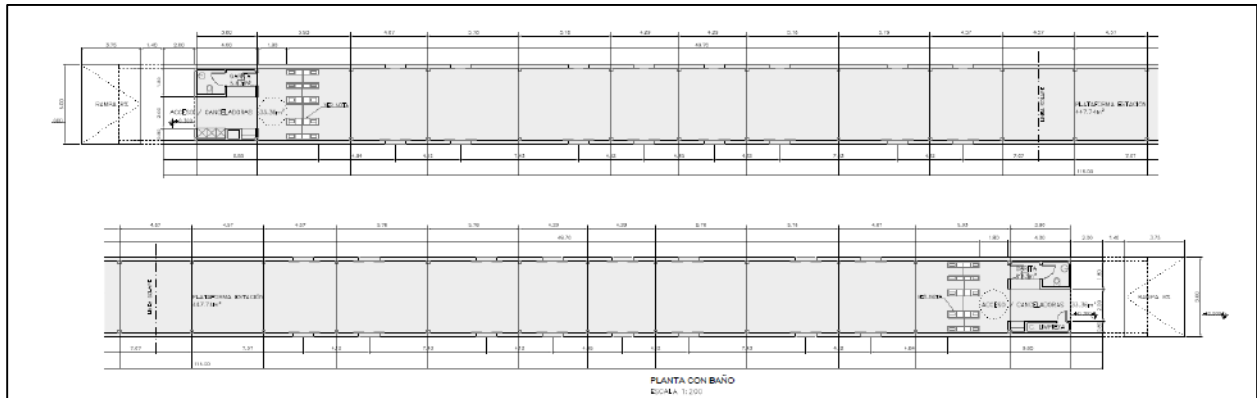


Fuente: Elaboración propia

4.11.2 Estación típica

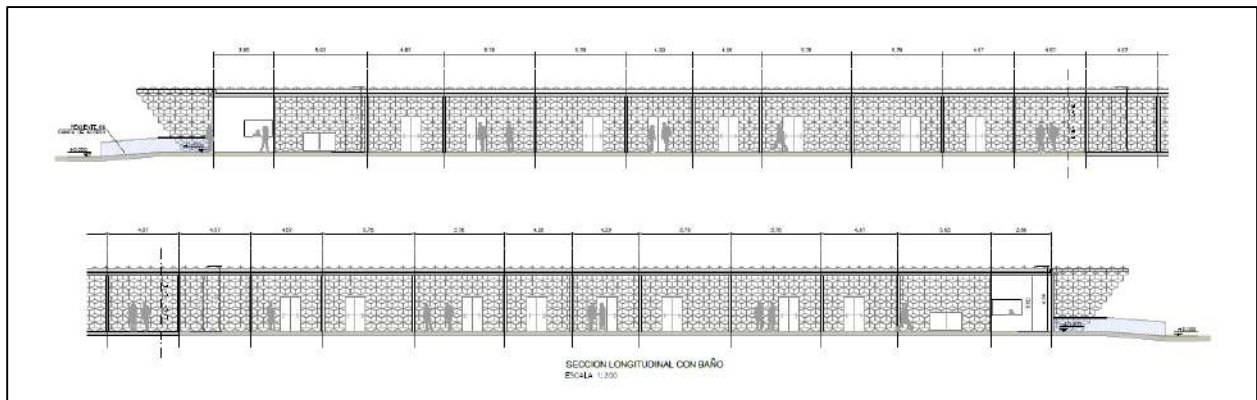
Los dibujos de la estación típica representan una estación con andén único central de 5.00m. Las otras estaciones son una variación de este concepto.

Figura 22. Planta estación típica



Fuente: Elaboración estudio IDOM

Figura 23. Perfil estación típica



Fuente: Elaboración estudio IDOM

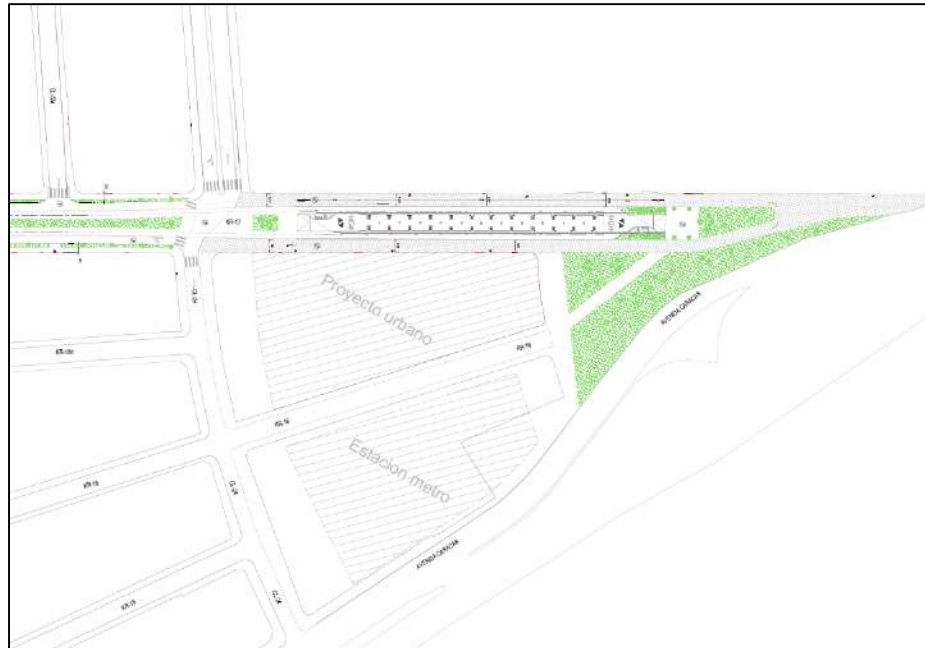
El diseño definitivo de la estación corresponderá al estudio de detalles que se realice en la siguiente etapa del proyecto.

4.11.3 Estación de La Calle 26

La estación de la Calle 26 se integra en la Plazoleta de la Luz, en la parte norte de la carrera 17 con calle 24. La vía en este lugar, tiene un ancho de 24.0m con una doble calzada de dos carriles y un separador central. La red vial en esta zona finaliza en la Plazoleta la Luz con una vía cerrada de acceso

a equipamiento educativo, donde el entorno de la estación Calle 26 contiene algunas oficinas, viviendas y una estación de servicio.

Figura 24. Estación Calle 26



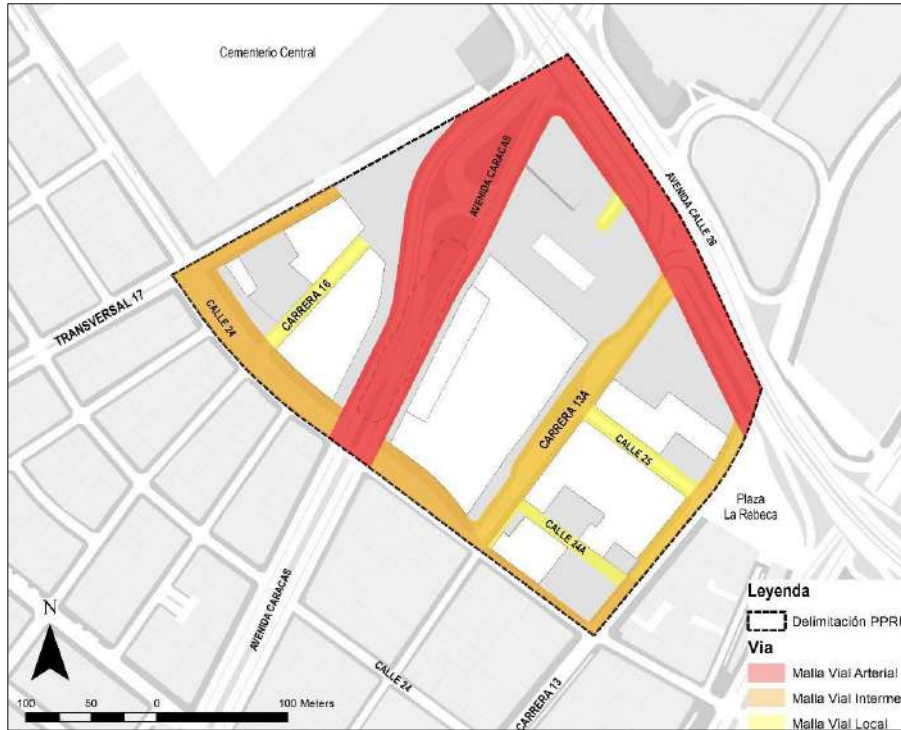
Fuente: Elaboración propia

La ubicación de la estación garantiza el acceso a todos los predios. Se establece una ubicación de la estación con un andén central de 7.00m y con la implantación de una vía férrea de cada lado de la plataforma, para un ancho total de 13.30m.

Adicionalmente se implanta de cada lado una zona de tránsito mixto con un ancho arriba de 5.00m, para peatones y de servicio vehicular restringido con el fin de permitir acceso a todos los predios.

La estación se implanta a un costado del Plan Parcial de Renovación Urbana - PPRU "Estación Central Transmilenio" localizado entre las Calles 26 y 24 y las Carreas 13 y 17 de la ciudad de Bogotá, con un área bruta de 10.7 Ha, aceptado mediante decreto 213 de 2013, que busca integrar los principales modos de transporte masivo de la Ciudad de Bogotá y renovar una zona deprimida del centro de la ciudad, la cual contará con nuevas áreas para residencias, servicios, comercio y dotacionales.

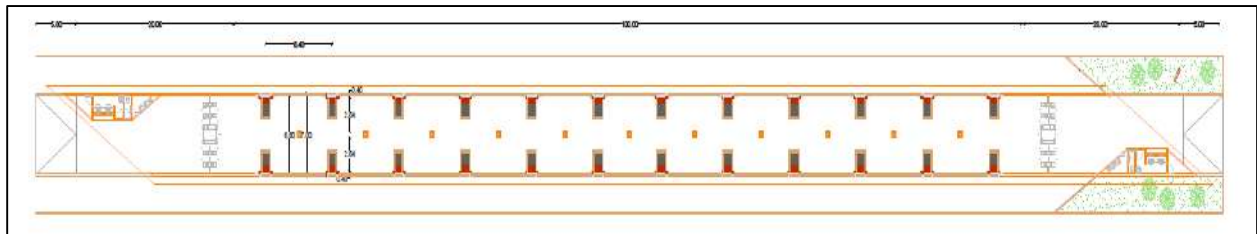
Figura 25. Ubicación Plan Parcial Estación Central



Fuente: Empresa de Renovación Urbana - ERU

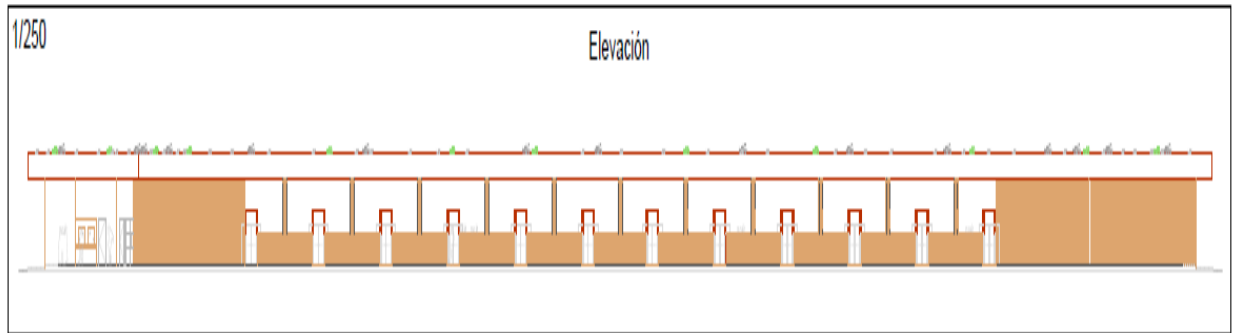
La estación se diseñó con un andén central de 7.00m.

Figura 26. Planta estación calle 26



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Perfil estación calle 26



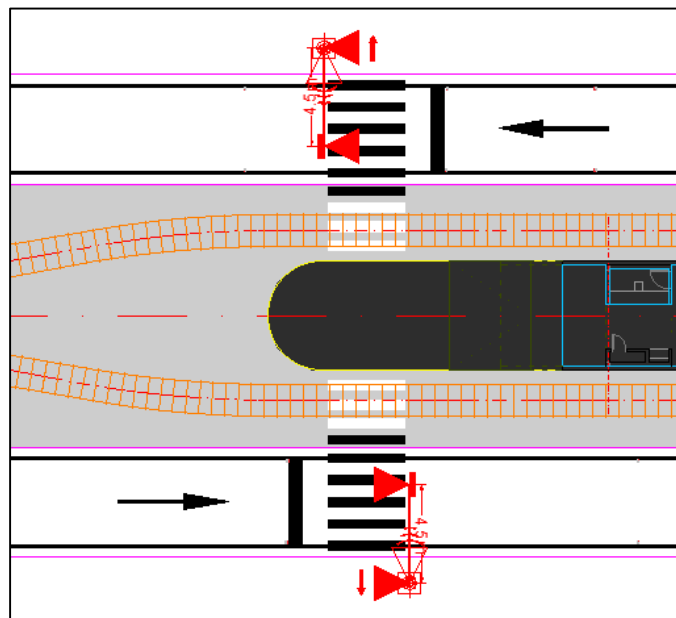
Fuente: Elaboración propia

La estructuración realiza un planteamiento arquitectónico, no obstante, en la siguiente etapa del proyecto se realizará su diseño a detalle.

4.11.4 Acceso a las estaciones

En las estaciones de pasajeros localizadas junto a ejes viales paralelos, se debe garantizar pasos peatonales seguros. Se recomienda demarcar los pasos peatonales hasta el acceso a las estaciones y reforzar la señalización con semáforos actuados que restrinjan solo el paso de vehículos mixtos.

Figura 28. Acceso a estaciones.



Fuente: Elaboración propi

4.12 RAMAL AL METRO

El Ramal al Metro cumple la función de conectar el corredor férreo central de Regiotram desde su tronco principal en la intersección de la Av. Ferrocarril (Diagonal 19) con Carrera 22 hasta la zona de integración de la futura estación Metro de la calle 26 la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB) en la Carrera 17 con Calle 26, permitiendo que los pasajeros se desplacen desde los municipios de la Sabana de Occidente desde Facatativá y en Bogotá desde la localidad de Fontibón hasta el centro de la ciudad y viceversa.

4.12.1 Localización

El Ramal Metro se localiza en la Localidad de los Mártires, en el barrio Santafé, en la ciudad de Bogotá, iniciando en la estación ubicada en la carrera 17 con calle 26, continuando hacia el sur hasta la calle 22, donde sigue hacia el occidente hasta la carrera 19 donde se conecta con el corredor principal en la Avenida Ferrocarril (o Diagonal 19). A continuación, en la figura se presenta la localización del Ramal Metro del proyecto.

Figura 29. Localización Ramal Metro



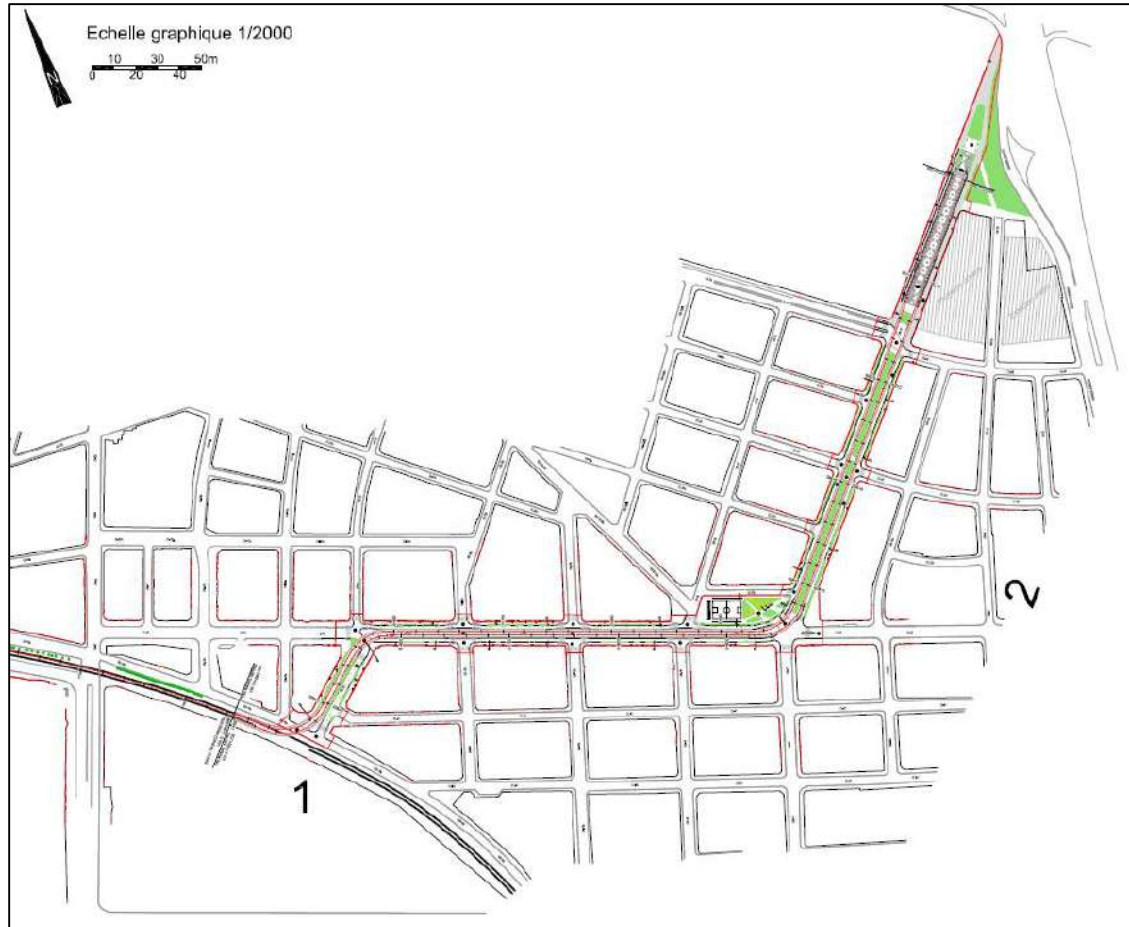
Fuente: Elaboración Propia

4.12.2 Descripción del Ramal Metro

El Corredor férreo del Ramal Metro del proyecto tiene una longitud de 994.2 m en la Vía 1 y 1000.84 m en la vía 2; el cual se desarrolla por vías urbanas desde el actual corredor férreo, iniciando el empalme en la Av. Ferrocarril (diagonal 19) con la Carrera 19 con radio de giro interno de 40 m, el cual está por encima de los mínimos recomendados para este tipo de transporte (Light Rail Transit - LRT), donde el corredor férreo se carga al costado occidental del eje vial de la Cra. 19, usando parte del espacio público

y uno de los tres carriles existentes y empalmando con la Cl. 22 mediante de un radio de giro interno de 35m.

Figura 30. Trazado Corredor férreo Ramal Metro



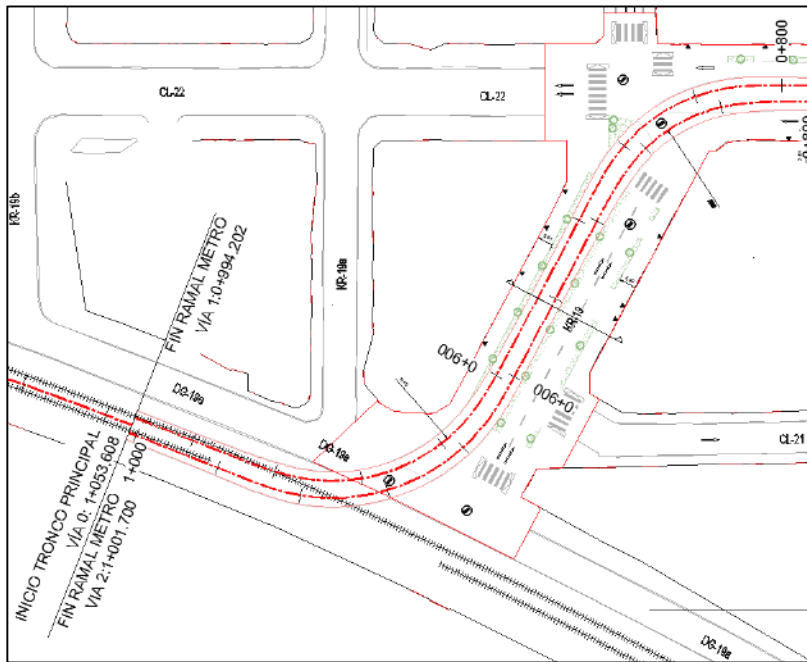
Fuente: Elaboración propia

La implantación de la sección en la carrera 19, consta de una calzada al costado oriental de dos carriles vehiculares de 3.25m con un nivel inferior (12cm) con respecto al nivel de la plataforma del Regiotram y el espacio público, donde se plantea el cambio de sentido de circulación actual conduciendo hacia el norte, tal como se plantea en el par vial de la vía Av. Mariscal Sucre.

Así mismo, se plantea en la carrera 19 que el Regiotram ocupe una franja de 7.0 m de ancho en los tramos rectos, a nivel con el espacio público, donde se incluye las dos vías férreas y los gálibos horizontales, sumado a una zona de protección para el cruce de peatones de 1.50m, de modo tal que estos cuenten con una franja en la cual puedan realizar la maniobra de cruce en dos tiempos y finalmente a los dos costados se propone una franja peatonal de 3.10m y franja de protección ambiental de 1.20m al costado occidental y al costado oriental, una franja peatonal de

3.70m y franja de protección ambiental de 1.20m garantizando que a lo largo de este tramo se cumpla con los anchos mínimos de circulación para personas con movilidad reducida.

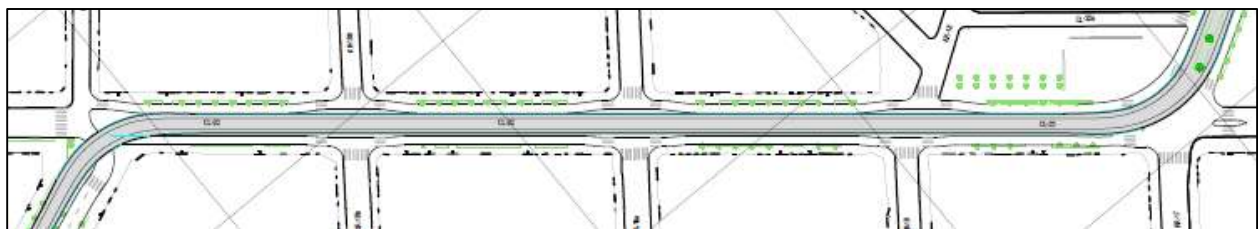
Figura 31. Trazado en planta Cr 19



Fuente: Elaboración propia

Sobre la calle 22, se plantea un trazado en planta para el corredor férreo del Regiotram en el eje central de la CI. 22, donde se garantizan franjas peatonales y vehiculares a los costados de la vía férrea, sin restricción a los accesos vehiculares de los predios. Así mismo, se plantea un carril vehicular de 3.25m a cada costado del corredor férreo conduciendo el flujo vehicular al occidente, dando continuidad al tránsito por esta calle.

Figura 32. Trazado en planta Eje central CI 22



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se plantea que el Regiotram de Occidente ocupe una franja de 6.95 m de ancho, donde se incluye las dos vías férreas y los gálibos horizontales, sumado a una zona de protección por efecto de contraflujo del Regiotram y los vehículos mixtos de 1m. en esta zona se puede permitir en caso de bloqueo del carril el sobrepaso por la plataforma.

Sobre la Carrera 17 se plantea que el Regiotram discurra por el eje de la vía existente, conectando con la calle 22 mediante curva de radio 35m. Así mismo, se propone dar continuidad a la carrera 17 con un carril vehicular a cada costado, garantizando acceso a todos los predios en este tramo.

Terminado este tramo, se plantea la implantación de la estación Regiotram de 100 m de longitud útil (longitud de la plataforma de intercambio de pasajeros), con andén central para acceso al sistema por los dos costados.

Figura 33. Trazado en planta Eje central Cra 17



Fuente: Elaboración propia

La implantación de la sección vial en esta zona consta de un espacio público de 2.4 m, seguido de un carril vehicular de 3.25m a un nivel inferior con relación a la plataforma, pero que pueda permitir en caso de bloqueo del carril el sobrepaso. La franja del corredor férreo es de 10.20m que incluye un separador de 3.6 m (existente), a nivel de la plataforma, seguido de un carril de acceso a predios de 3.25m de ancho con sentido de circulación sur-norte, el cual se encuentra 4cm por debajo del nivel del espacio público y la plataforma del Regiotram, y finalmente se propone una franja peatonal de 2.4m, garantizando que a lo largo de este tramo se cumpla con los anchos mínimos de circulación para personas con movilidad reducida.

4.12.3 Conexión con otros corredores de alta capacidad y modos complementarios

Transmilenio

En el momento de puesta en marcha del Regiotram de Occidente, es posible conectar peatonalmente al sur con la estación de la Troncal Caracas del sistema Transmilenio Calle 22. Desde el costado norte de la estación calle 26 de Regiotram por la plazoleta de la Luz es posible desplazarse a la estación de Transmilenio Calle 26.

Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)

De igual manera, se podrá vincular con las rutas del SITP que circulan por el barrio Santafé, descendiendo desde la estación Calle 26 por el costado sur, donde el paradero más cercano está a menos de 50m.

Figura 34 Localización de paraderos SITP en el área de influencia



Fuente: Elaboración Propia a partir del SIGIDU

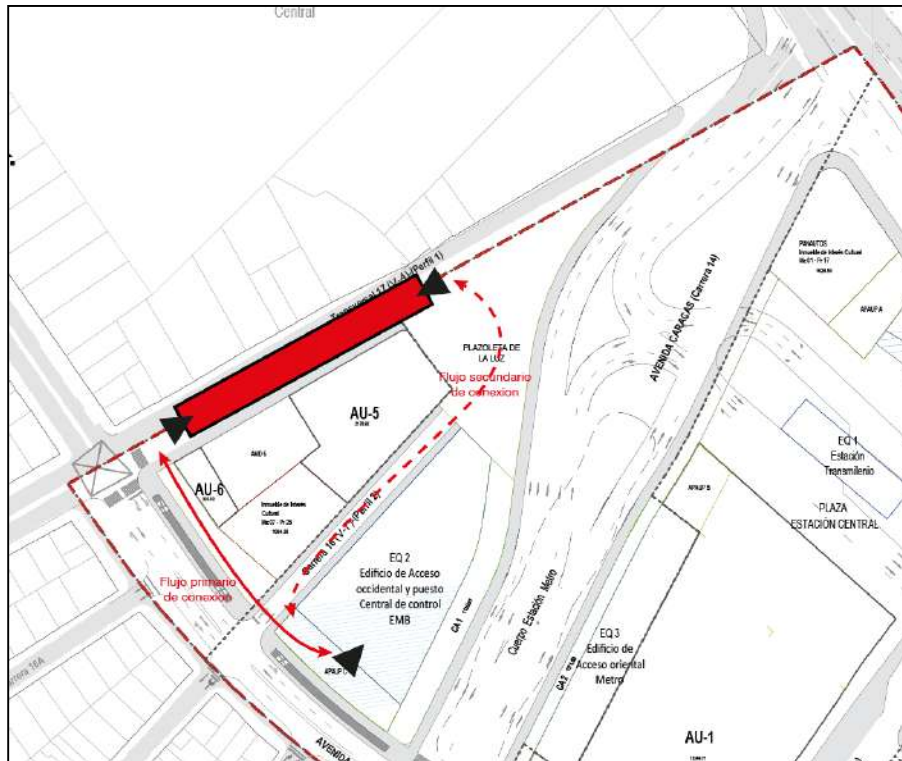
Conexión con la Primera Línea Metro de Bogotá - PLMB

Por la ubicación de la estación se ofrecen dos rutas, accesibles de cada lado de la estación del Regiotram para la conexión con la Estación de la Primera Línea Metro de Bogotá - PLMB:

La primera, la más corta, por la calle 24 y con una longitud de 150m. La calle 24 no hace parte del Plan Parcial Estación Central, pero es un proyecto que se encuentra a cargo de la ciudad de Bogotá para ampliar la sección vial.

La segunda por la Plazoleta de la Luz es de 250m. La reconfiguración de la Plazoleta ya está planeada dentro del Proyecto de Metro y deberá coordinado con el proyecto Regiotram.

Figura 35. Accesos Estación Calle 26



Fuente: Elaboración Propia

4.13 SISTEMA DE SEGURIDAD, SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DEL TREN

4.13.1 Criterios de diseño

Se definen a continuación los principios que se llevaron en consideración para la definición del proyecto de referencia.

4.13.1.1 Principios generales

- La circulación nominal se hará en la vía 1 de la Calle 26 a Facatativá, y en la vía 2 de Facatativá a la Calle 26.
- La vía no está banalizada; Sin embargo, de la estación Madrid a la estación Cra. 68, estará señalizada para permitir circular en el sentido contrario, en el caso de indisponibilidad de la otra vía (principio de instalación permanente de contra sentido).
- Las zonas de maniobras son señalizadas para permitir los movimientos necesarios a la operación nominal y degradada (señales luminosas, detección de trenes, motorización y control de los

aparatos de vía adaptados a las maniobras).

- Se prevén señales de cantonamiento en las zonas con velocidad superior a 70 km/h.
- En la zona de cocheras del PK5+440, se prevé una señalización específica para manejar el cruce con la línea de ferrocarril de carga.

4.13.1.2 Modo de conducción

Se presentan a continuación los principios de conducción:

- En zona operada a más de 70 km/h: Conducción con señalización lateral (cantonamiento) y con control de franqueo. Se establecen funcionalidades de bloqueo que garantizan que solo un tren pueda entrar en una sección de vía definida por la cual podrá desplazarse con seguridad.
- En zona operada hasta 70 km/h: Conducción en "marcha a la vista" con señalización en las zonas de maniobra, como el caso de un sistema tranviario, la responsabilidad de la conducción recae sobre el maquinista dado que el trazado a esas velocidades discurre dentro de la ciudad y no es posible garantizar que la vía esté despejada y que no haya interferencias en la plataforma.
- En los talleres y cocheras, el sistema de señalización y control está gestionado con sistema de enclavamiento con señales laterales sin control de velocidad/franqueo ni sistema de protección automático, excepto para los accesos a la vía principal (gestión de las entradas y salidas a las cocheras desde la línea).

4.13.1.3 Material rodante

Se consideraron las hipótesis siguientes al respecto de los trenes:

- Las características del material rodante son uniformes para todos los vehículos, no coexistiendo distintos tipos de tráfico. Adicionalmente, los trenes que realizan el recorrido urbano son los mismos que realizan el recorrido suburbano.
- Todos los trenes tendrán características similares y serán bidireccionales;
- No está previsto equipamiento embarcado de señalización para vehículos de mantenimiento. Los equipos de mantenimiento son controlados en modo manual con señalización lateral y procedimientos operacionales específicos.
- Los ejes del material Rodante garantizan el "shunt" (corto circuito) de los circuitos de vía.
- La señalización en línea permite la circulación de los trenes en unidades múltiples.
- Las operaciones de acoplamiento/desacoplamiento se efectúan únicamente en la zona de talleres.

4.13.1.4 Cruces viarios / Sistemas de barreras:

En los cruces viarios la prioridad será dada al tren ligero. Según la velocidad de franqueo del cruce, y su tamaño, se podrá definir los principios siguientes:

- En las zonas urbanas (por ejemplo, Ramal Metro), los cruces están manejados por señalización viaria sin protección por barreras. Se maneja una interfaz entre la señalización viaria y la señalización ferroviaria para garantizar congruencia de las informaciones entregadas al conductor por los dos sistemas;
- Los demás cruces estarán protegidos por barreras, o con interface con la señalización viaria para garantizar un nivel de prioridad satisfactorio al sistema de tren ligero o manejados totalmente por la señalización ferroviaria (todos los cruces privados y todos los cruces entre Madrid y Facatativa) para garantizar una prioridad total, cerrándose las barreras y activando las señales acústicas y luminosas para el tráfico rodado al paso de tren:
 - Para los cruces a velocidad inferior hasta 70 km/h, se prevé un control de cierre de las barreras sin control de franqueo de las señales ferroviarias,
 - Para los cruces a velocidad superior a 70 km/h, se prevé un control de cierre de las barreras con control de franqueo de las señales ferroviarias,
 - En la zona circulada en ambas vías en doble sentido (Madrid a Carrera 68), el equipamiento permitirá el cierre de las barreras en ambas direcciones en ambas vías.

4.13.1.5 Puesto de mando:

El puesto de mando de la línea como de los talleres está ubicado en un edificio de las instalaciones y talleres y cocheras en el PK 5. Las IHM de los diferentes puestos de mando son banalizadas (posibilidad de acceso a cualquier zona de maniobra).

4.13.1.6 Mando de las rutas

- En modo nominal, las rutas en línea principal como en talleres están establecidas desde el puesto de mando centralizado. Están previstos escenarios de rutas establecidas de forma automática, principalmente para establecer el carrusel de la línea.
- El sistema permite mandos locales desde un dispositivo local a pie de señal si las condiciones de seguridad lo permiten.

4.13.1.7 Puertas de andén

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

4.13.2 Zonas de maniobras

Se establecieron 10 zonas de maniobras:

- Zona de Facatativá
- Zona de El Corzo – E/S de los talleres
- Zona de Madrid 2

- Zona de Mosquera 2
- Zona de Funza 1
- Zona de Catam
- Zona de Carrera 68 – entrada/ salida del patio km5
- Zona de Calle 26
- Zona de talleres y cocheras “El Corzo”
- Zona de cocheras PK5

4.13.3 Características, Arquitectura y requisitos técnicos

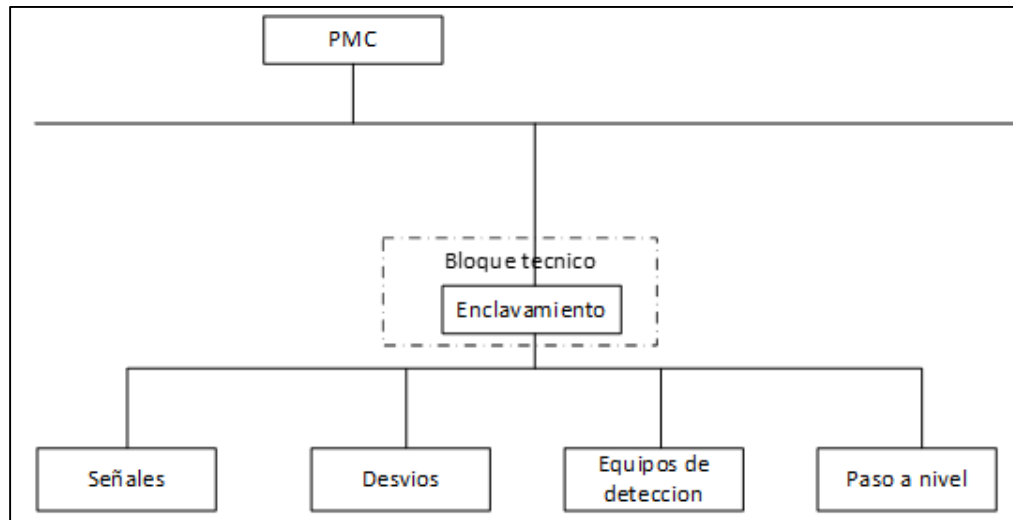
4.13.4 Arquitectura del sistema de señalización

El sistema de señalización se compone de:

- Equipos en vía,
- Equipos en locales técnicos, ubicados en las estaciones,
- Equipos en el puesto de mando ubicado en talleres y cocheras,
- Equipos embarcados en los trenes,
- Se dispone de una red de comunicaciones redundada de alta disponibilidad que permita una comunicación segura entre los diferentes elementos de campo y el enclavamiento, así como entre cada enclavamiento y con el Puesto de Mando Centralizado.
- Las instalaciones de Talleres y Cocheras están ubicadas aproximadamente en el PK 35+800, a la altura de la estación “El Corzo”.
- Cocheras adicionales están ubicadas aproximadamente en el PK 5+270 al nivel de la estación “Carrera 68”. En dicho recinto estará ubicado el Puesto de Mando Centralizado desde donde se realizará la supervisión, entre otros sistemas, del Sistema de Señalización y Control de Tráfico.

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

Figura 36. Arquitectura del Sistema Señalización



Fuente: Elaboración propia

4.13.5 Subsistema de Señalización de Enclavamiento

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

- Enclavamiento n°1: Asociado a la zona de maniobras de la estación "Calle 26"
- Enclavamiento n°2: Asociado a la zona de maniobras de acceso/salida de cocheras y configuración de vías de la estación "Carrera 68". Este enclavamiento dispone de una interfaz con el enclavamiento n°9 de Cocheras PK5 para gestionar la entrada/salida de vehículos de la línea/ cocheras.
- Enclavamiento n°3: Asociado la zona de maniobras de la estación "Catam".
- Enclavamiento n°4. Asociado a la zona de maniobras y vía mango de las inmediaciones de la estación "Funza 1".
- Enclavamiento n°5: Asociado a la zona de maniobras de la estación "Mosquera 2"
- Enclavamiento n°6: Asociado a la zona de maniobras de la estación "Madrid 2"
- Enclavamiento n°7: Asociado a la zona de maniobras de acceso/salida de talleres y configuración de vías de la estación "El Corzo". Este enclavamiento dispone de una interfaz con el enclavamiento n°10 de talleres para gestionar la entrada/salida de vehículos de la línea/talleres y cocheras.
- Enclavamiento n°8: Asociado a la zona de maniobras de la estación "Facatativá"

- Enclavamiento n°9: asociado a la configuración de vías de Cocheras PK5
- Enclavamiento n°10: asociado a la configuración de vías de Talleres y Cocheras

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

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

El Subsistema de Señalización está formado por los siguientes elementos:

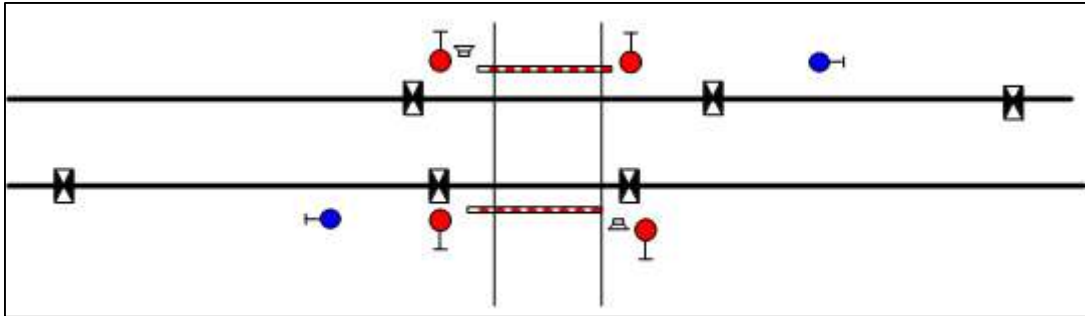
- Enclavamientos electrónicos
- Señales luminosas laterales y señales fijas
- Sistemas de detección de la presencia de tren
- Sistemas de control y mando de accionamiento de aguja
- Sistema de control de franqueo de las señales
- Red de comunicación
- Red de cables
- Sistema de mando local

4.13.6 Arquitectura del sistema de protección de los cruces viarios

La arquitectura del sistema de protección de los cruces viarios incluye lo siguiente:

- Armario local
- Equipos de anuncio
- Equipos de rearme
- Barrera
- Semáforo de alerta para vehículos/ peatones
- Señal a destinación de los trenes

Figura 37. Esquema típico de paso a nivel (sin control de franqueo)



Fuente: Elaboración propia

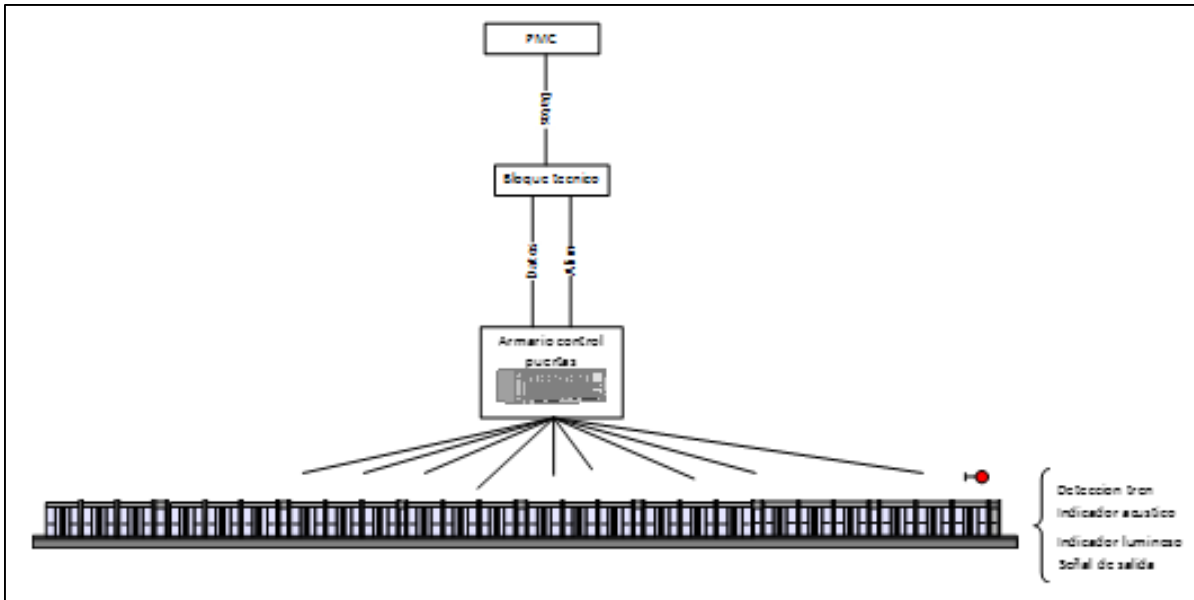
4.13.7 Sistema de puertas de andén

La arquitectura de las puertas de andén está conformada por los siguientes sistemas y equipos:

- Puertas de andén
- Módulo de puerta deslizante
- Módulo de panel fijo
- Armario de Control de Puertas de Andén
- Controlador de Puertas
- Mecanismo de detección de los trenes
- Señal
- Mecanismo de emergencia
- Indicador luminoso de estado de la puerta
- Indicador sonoro de aviso de apertura/cierre de la puerta

En la siguiente figura se presenta el esquema típico del sistema de puestas de andén.

Figura 38. Arquitectura sistema de puertas de andén



Fuente: Elaboración propia

4.13.8 Alimentación

Las instalaciones de señalización ferroviarias son alimentadas en 110V /210V.

Además, en caso de fallo de la red, se dispone de una alimentación ininterrumpida durante 120 minutos.

Los equipos en vía (señales, equipos de detección, motores, equipos de pasos a nivel,) están controlados y alimentados desde los equipos ubicados en el local técnico (enclavamiento) ubicado en el bloque técnico.

Los equipos en vía son alimentados desde un bastidor en campo.

Los equipos de puerta de andén son alimentados desde la estación (bloque técnico) que les corresponde.

4.13.9 Los locales técnicos y bloques técnicos

Dentro de los bloques técnicos de las estaciones con un sistema de enclavamiento, están previstos locales técnicos permitiendo recibir los equipos de señalización en cada zona de enclavamiento.

La superficie estimada de los locales técnicos necesaria en los bloques técnicos es de 20 m².

La superficie estimada de los locales técnicos de los talleres y cocheras es de 35 m².

4.14 SISTEMA DE SINALIZACION CONTROLADO DESDE EL PUESTO DE MANDO CENTRALIZADO (PMC)

El Puesto de Mando Centralizado - PMC permite el control de las instalaciones de seguridad y del tráfico en líneas ferroviarias.

El PMC está constituido de un conjunto de servidores y puestos de supervisión

Los servidores estarán ubicados en una sala de servidores dedicada

Los puestos de supervisión están ubicados en las diferentes salas del PMC según las necesidades de la operación (regulación de tráfico, supervisión, mantenimiento, capacitación, etc...)

4.15 SISTEMA DE COMUNICACIONES

Se presentan en ese capítulo las hipótesis tomadas en cuenta para el desarrollo del Proyecto de referencia referente a los sistemas de comunicaciones.

4.15.1 Puesto de Mando Centralizado (PMC)

El Puesto de Mando Centralizado está ubicado en las Cocheras en el PK 5+000, y será el punto neurálgico del Regiotram de Occidente, donde se concentra toda la información de los diferentes subsistemas que lo conforman para poder llevar a cabo el control y supervisión de los mismos.

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

- Sala de Operación en tiempo real.
- Sala de Operación en tiempo diferido.
- Sala de Mantenimiento.
- Sala Técnica de equipos.

De igual forma se debe tener:

- Configuración de puestos de operación y videowall en PMC PK-5
- Configuración de Puestos de Operación PMC
- Configuración de Videowall de SAE, Tráfico y Energí
- Configuración de Videowall de Seguridad
- Red de Área Local Puesto de Mando Centralizado

4.15.2 Configuración de Puesto de Mando Local (PML) en El CORZO

El Puesto de Mando Local (PML) que se instala en el emplazamiento de Los talleres y patios de El Corzo, y permite:

- Supervisar y controlar el sistema de señalización de la zona de Talleres y Cocheras de El Corzo.

- Supervisar y controlar el sistema de energía de la zona de Talleres y Cocheras de El Corzo.
- Optimizar la utilización de todos los equipos al servicio del operador y de los usuarios en la zona de Talleres y Cocheras de El Corzo.
- Permitir la comunicación entre el PML y el PMC.

4.15.3 Red de comunicaciones fijas

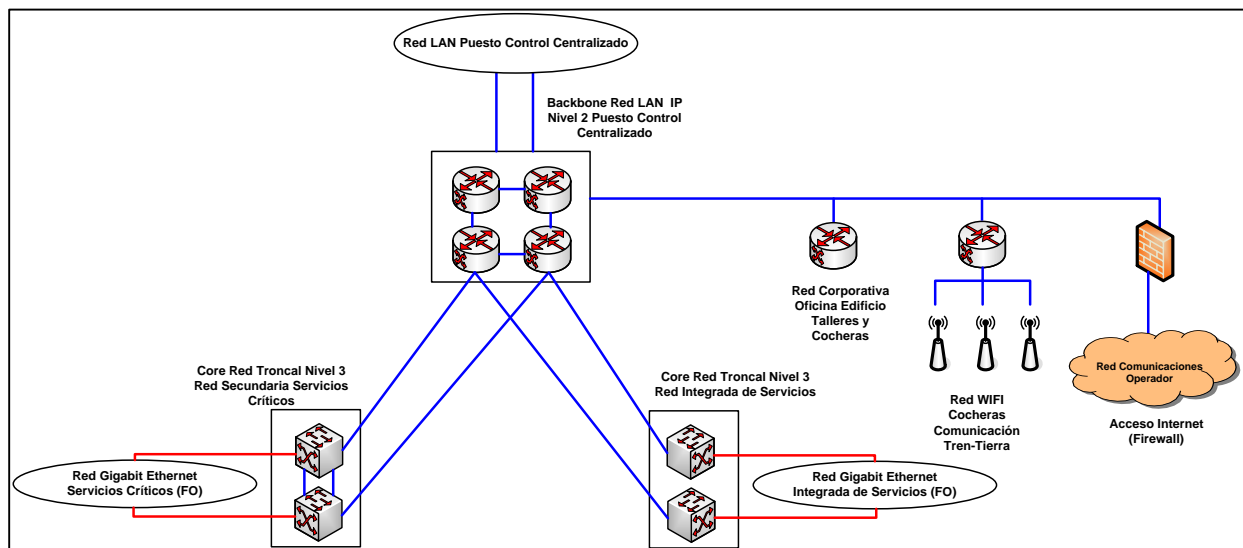
La red de comunicaciones fijas será el soporte de transmisión de todas las señales hasta el Puesto de Mando Centralizado. Se trata de una red IP con topología en anillo. Se instalarán nodos IP en estaciones, subestaciones eléctricas, controladores de señalización, pasos a nivel, controladores de protección de cruces viarios a lo largo del trazado, así como en Talleres y Cocheras.

Con el objeto de tener un sistema altamente confiable, se instalarán dos redes IP.

- 1 Red de Transmisión Gigabit Ethernet o Red Integrada de Servicios
- 2 Red Secundaria de Servicios Críticos

Adicionalmente se instalará en los emplazamientos del Puesto de Mando Centralizado, Talleres y Cocheras, Estaciones y Subestaciones Redes de Área Local (LAN) que dará conexión a todos los elementos que intervienen en la explotación del Corredor de Occidente, de acuerdo con la siguiente figura.

Figura 39. Arquitectura Red de Comunicaciones Fijas e integración de redes



Fuente: Elaboración propia

4.15.4 Red integrada de servicios

La arquitectura de la Red Integrada de Servicios estará formada por dos tipos de nodos de comunicaciones:

- 1** Backbone: Constituido por dos switches Gigabit Ethernet de nivel 3 trabajando en VRRP proporcionando redundancia y asegurando la conectividad en caso de fallo de los enlaces principales. Están ubicados en el Puesto de Mando Centralizado.
- 2** Nodos de acceso: Switchs industriales Gigabit Ethernet de nivel 2 ubicados en estaciones y subestaciones eléctricas.

Los nodos de backbone se encargarán de cerrar los diferentes anillos de comunicaciones y segmentar las diferentes subredes configuradas (VLANs), para establecer interrelaciones entre las diferentes VLANs.

En la siguiente tabla se muestra el número de nodos de acceso y su ubicación.

Tabla 16. Nodos de Acceso Red Integrada de Servicios Regiotram de Occidente

NODOS DE ACCESO RED INTEGRADA DE SERVICIOS		
Nº Nodo	Descripción	Subanillo
1	Estación "Calle 26"	Subanillo 1 (Cable A)
2	Subestación Eléctrica nº1	Subanillo 1 (Cable A)
3	Estación "Carrera 40"	Subanillo 1 (Cable A)
4	Subestación Eléctrica Talleres y Cocheras	Subanillo 1 (Cable A)
5	Estación "NQS Carrera 30"	Subanillo 1 (Cable B)
6	Estación "Carrera 50"	Subanillo 1 (Cable B)
7	Estación "Carrera 68"	Subanillo 1 (Cable B)
8	Estación "Av. Boyacá"	Subanillo 1 (Cable B)
9	Estación "Fontibón"	Subanillo 2 (Cable A)
10	Estación "Catam"	Subanillo 2 (Cable A)
11	Subestación Eléctrica nº3	Subanillo 2 (Cable A)
12	Estación "Madrid 1"	Subanillo 2 (Cable A)
13	Subestación Eléctrica nº2	Subanillo 2 (Cable B)
14	Estación "Ciudad de Cali"	Subanillo 2 (Cable B)
15	Estación "Funza 1"	Subanillo 2 (Cable B)
16	Estación "Mosquera 1"	Subanillo 2 (Cable B)
17	Estación "Funza 2"	Subanillo 3 (Cable A)
18	Estación "Mosquera 2"	Subanillo 3 (Cable A)
19	Subestación Eléctrica nº6	Subanillo 3 (Cable A)
20	Estación "Corzo"	Subanillo 3 (Cable A)
21	Estación "Facatativá "	Subanillo 3 (Cable A)
22	Subestación Eléctrica nº4	Subanillo 3 (Cable B)
23	Subestación Eléctrica nº5	Subanillo 3 (Cable B)
24	Estación "Madrid 2"	Subanillo 3 (Cable B)
25	Subestación Eléctrica nº7	Subanillo 3 (Cable B)
26	Subestación Eléctrica nº8	Subanillo 3 (Cable B)

Fuente: Elaboración propia

4.15.5 Red secundaria servicios críticos

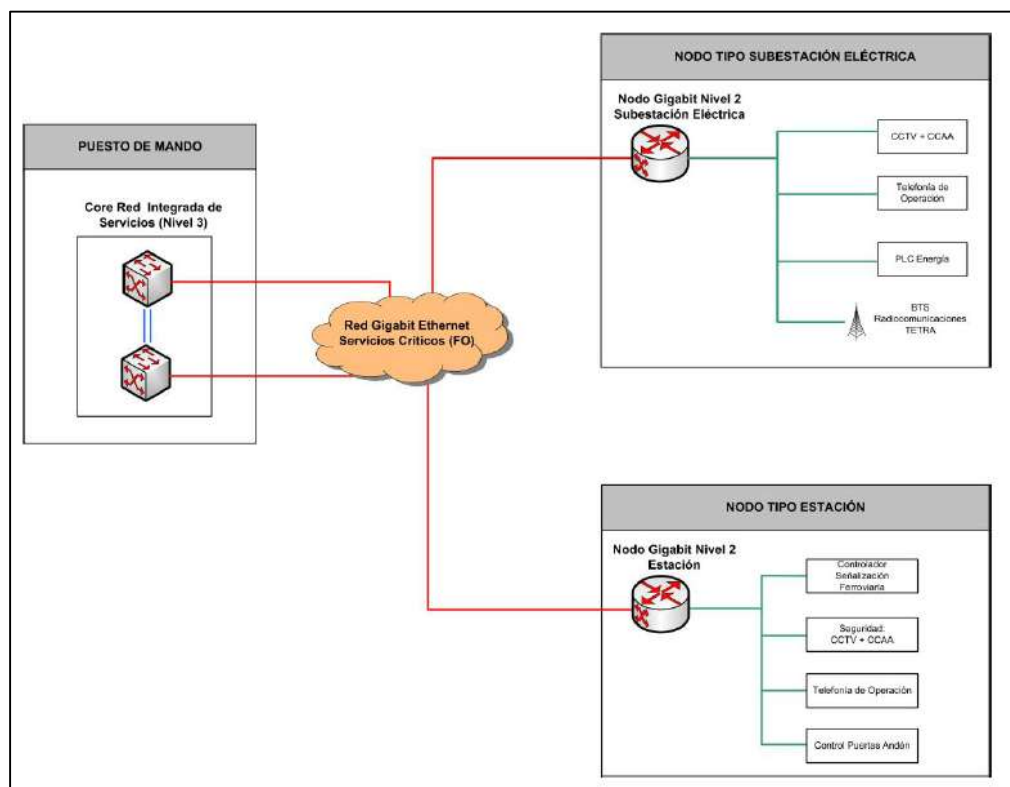
La arquitectura de la red secundaria de Servicios Críticos estará formada por 2 tipos de nodos de comunicaciones:

1. Backbone: constituido por dos switchs Gigabit de nivel 3 trabajando en VRRP que proporcionará redundancia y asegurará la conectividad en caso de fallo de los enlaces principales. Estarán ubicados en el Puesto de Mando Centralizado.
2. Nodos de acceso: Switchs industriales Gigabit Ethernet de nivel 2 que estarán ubicados en controladores de estaciones y subestaciones eléctricas.

Los sistemas a los que se dará servicio a través de la Red de Servicios Críticos son los siguientes:

- Señalización.
- Apertura de puertas de andén
- Telemando de Energía.
- Red de transmisión Radiocomunicaciones TETRA.
- Telefonía Operación.

Figura 40. Configuración Comunicaciones Subestación Eléctrica y Estación



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra el número de nodos de acceso y su ubicación.

Tabla 17. Nodos de Acceso Red Integrada de Servicios Regiotram de Occidente

NODOS DE ACCESO RED INTEGRADA DE SERVICIOS		
Nº Nodo	Descripción	Subanillo
1	Estación "Calle 26"	Subanillo 1 (Cable A)
2	Subestación Eléctrica nº1	Subanillo 1 (Cable A)
3	Estación "Carrera 40"	Subanillo 1 (Cable A)
4	Subestación Eléctrica Talleres y Cocheras	Subanillo 1 (Cable A)
5	Estación "NQS Carrera 30"	Subanillo 1 (Cable B)
6	Estación "Carrera 50"	Subanillo 1 (Cable B)
7	Estación "Carrera 68"	Subanillo 1 (Cable B)
8	Estación "Av. Boyacá"	Subanillo 1 (Cable B)
9	Estación "Fontibón"	Subanillo 2 (Cable A)
10	Estación "Catam"	Subanillo 2 (Cable A)
11	Subestación Eléctrica nº3	Subanillo 2 (Cable A)
12	Estación "Madrid 1"	Subanillo 2 (Cable A)
13	Subestación Eléctrica nº2	Subanillo 2 (Cable B)
14	Estación "Ciudad de Cali"	Subanillo 2 (Cable B)
15	Estación "Funza 1"	Subanillo 2 (Cable B)
16	Estación "Mosquera 1"	Subanillo 2 (Cable B)
17	Estación "Funza 2"	Subanillo 3 (Cable A)
18	Estación "Mosquera 2"	Subanillo 3 (Cable A)
19	Subestación Eléctrica nº6	Subanillo 3 (Cable A)
20	Estación "Corzo"	Subanillo 3 (Cable A)
21	Estación "Facatativá "	Subanillo 3 (Cable A)
22	Subestación Eléctrica nº4	Subanillo 3 (Cable B)
23	Subestación Eléctrica nº5	Subanillo 3 (Cable B)
24	Estación "Madrid 2"	Subanillo 3 (Cable B)
25	Subestación Eléctrica nº7	Subanillo 3 (Cable B)
26	Subestación Eléctrica nº8	Subanillo 3 (Cable B)

Fuente: Elaboración propia

4.15.6 Redes de radiocomunicaciones

El Sistema de Radiocomunicaciones dará soporte a las comunicaciones vocales entre el Puesto de Mando Centralizado y los conductores. También dará soporte a las comunicaciones vocales de las brigadas de mantenimiento que trabajen en la línea, agentes de seguridad y control, así como personal de talleres y cocheras.

Por otro lado, el sistema de radiocomunicaciones soportará también las comunicaciones de datos entre los trenes y las instalaciones de tierra.

Para la prestación de este servicio se instalarán dos sistemas de radiocomunicaciones:

1. Sistema de radiocomunicaciones TETRA: Este sistema se empleará para la transmisión de voz y datos ligeros en tiempo real a lo largo de todo el trazado del Corredor de Occidente entre los vehículos que circulan en la línea y el Puesto de Mando Centralizado, así como para la comunicación de voz del personal de mantenimiento.
2. Sistema de radiocomunicaciones WiFi: Este sistema se empleará para la transmisión de datos pesados desde y hacia las unidades móviles. Se dotará al recinto de talleres y cocheras El Corzo y Cocheras de PK-5 de cobertura WiFi para que, fuera de la jornada de explotación, puedan realizarse las cargas y descargas de datos desde las unidades móviles a los sistemas centrales.

4.15.7 Sistema de ayuda a la explotación (SAE)

El Sistema de Ayuda a la Explotación (Operación) se divide funcionalmente en dos partes, el SAE de Tiempo Real y el SAE de Tiempo Diferido.

El primero se encargará de la gestión y operación en tiempo real de la explotación y estará compuesto por dos agentes, un módulo central, que se instalará en el servidor SAE del Puesto de Mando Centralizado y un módulo embarcado, instalado en un PC industrial en las unidades embarcadas.

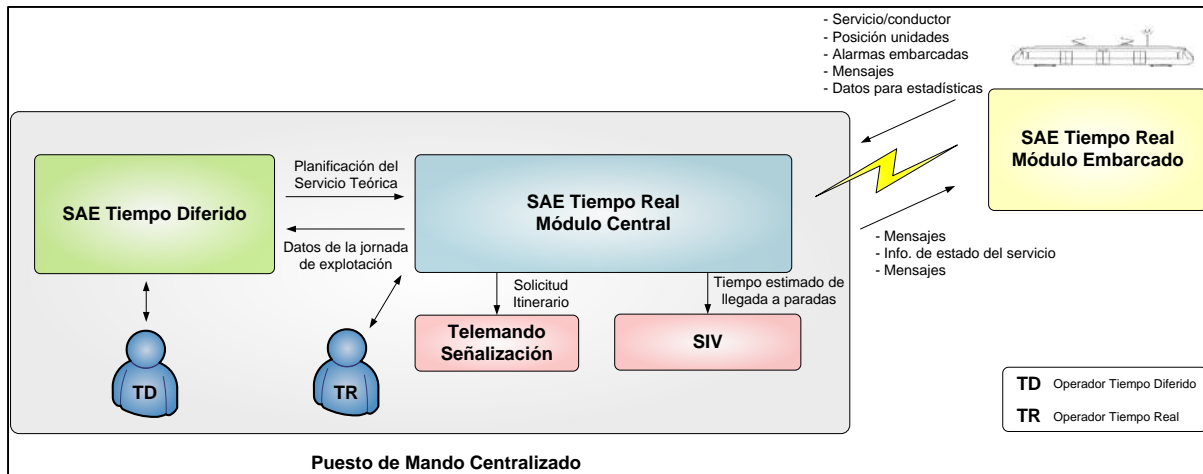
Para permitir un funcionamiento coherente de ambos sistemas, central y embarcado, todas las unidades embarcadas estarán sincronizadas con el servidor central del SAE y que éste, a su vez, se sincronizará con la central horaria del Puesto de Mando Centralizado.

El SAE Diferido se encargará de la realización del trabajo previo y posterior a la explotación, es decir, permitirá elaborar en primera instancia la planificación de los distintos servicios, así como la planificación del personal y unidades asociadas a los mismos. Adicionalmente, una vez finalizada la jornada, la aplicación permitirá la generación de distintos informes y estadísticas para el análisis de la explotación.

Este módulo software correrá sobre el mismo equipo que el denominado Módulo Central del SAE de Tiempo Real, aunque funcionalmente realizarán tareas diferentes.

A continuación, se presenta la arquitectura del Sistema SAE, así como la interacción del mismo con terceros.

Figura 41. Arquitectura sistema SAE



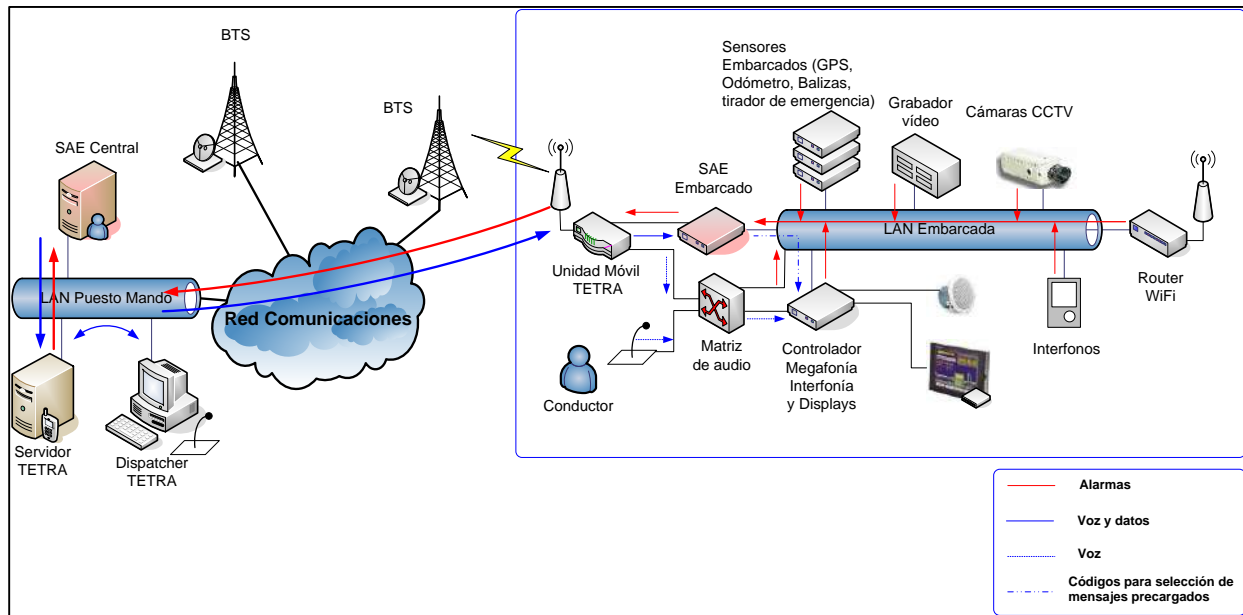
Fuente: Elaboración propia

El su módulo embarcado de la aplicación SAE de Tiempo Real permite la interacción del Sistema con las unidades móviles. Esta aplicación corre sobre un PC industrial instalado en las propias unidades. Dicho PC se comunicará con el módulo central de la aplicación SAE a través del sistema de radiocomunicaciones embarcado y con otros sistemas embarcados a través de la red de área local del vehículo.

Adicionalmente, el Su módulo Embarcado del SAE dispondrá de una pantalla gráfica táctil que ejercerá como interfaz hombre-máquina con el conductor del vehículo.

A continuación, se presenta la arquitectura de los sistemas embarcados en las unidades móviles:

Figura 42. Arquitectura elementos embarcados e intercambio de datos con el SAE



Fuente: Elaboración propia

4.15.8 Sistema de Telefonía/Interfonía

Este sistema permitirá ofrecer servicio de Interfonía y telefonía en la explotación del Regiotram de Occidente del LRT de Bogotá. El sistema permitirá las siguientes comunicaciones:

- Comunicación entre interfonos de estación y PMC.
- Comunicación entre teléfonos ubicados en subestaciones eléctricas y PMC.
- Comunicación entre terminales de PMC y terminales TETRA, tanto terminales móviles, como terminales portátiles.
- Comunicación entre terminales PMC hacia/desde el exterior a través de la red pública de operador.
- Comunicación entre los terminales telefónicos de los usuarios administrativos de talleres y cocheras, así como hacia/desde el exterior a través de la red pública de operador.

En función de los diferentes requerimientos de las comunicaciones anteriormente enumeradas, se implementará un Sistema de Telefonía Selectiva, exclusivamente vinculada a la explotación del Corredor de Occidente, y telefonía automática.

4.15.8.1 Telefonía Automática

Se instalará un sistema de Telefonía/Interfonía que permitirá implementar un servicio basado en tecnologías de Voz sobre IP a través de una central de tecnología IP.

El sistema de Telefonía – Interfonía estará basado en tecnología IP y se compondrá de los siguientes elementos:

- Teléfonos IP instalados en subestaciones eléctricas.
- Teléfonos IP instalados en los cuartos del edificio de oficinas complejo de Talleres, Cocheras y Puesto de Mando.
- Interfonos IP instalados en estación.
- Centralita IP instalada en la sala técnica del Puesto de Mando Centralizado.
- Gateway integrado en el Nodo central TETRA para la configuración de la interfaz de comunicaciones entre la Centralita de Voz IP y el sistema de radiocomunicaciones TETRA.
- Grabador de comunicaciones de voz IP conectado a la central de telefonía-Interfonía IP.

El sistema de audio de operadores del PMC integrará las comunicaciones telefónicas para poderlas gestionar, de forma centralizada, desde los puestos de operador. Se integrarán también los puestos de telefonía de la zona administrativa del edificio de Talleres y Cocheras.

El sistema de grabación permitirá registrar todas las conversaciones en que esté implicado el PMC, independientemente del sistema de audio utilizado (Interfonía o telefonía). Adicionalmente, la central de telefonía dispondrá de una interfaz para la conexión a la red de operadores de telecomunicación.

4.15.8.2 TELEFONÍA IP

Tanto en subestaciones eléctricas, estaciones, como en el Puesto de Mando Centralizado se instalarán teléfonos IP.

Los teléfonos IP en subestaciones realizarán su conexión a través de la Red Integrada de Servicios. Los teléfonos IP en Puesto de Mando Centralizado se conectarán a la red de área local de Puesto de Mando Centralizado.

Tanto desde los teléfonos de subestación, de estación, como desde los de Puesto de Mando Centralizado, se permitirá la comunicación con los terminales TETRA, bien sean unidades móviles o unidades portátiles embarcadas, mediante la interconexión de la central de voz IP con la red de comunicaciones TETRA, a través de la red LAN del Puesto de Mando.

Adicionalmente, la central de voz IP también dará servicio a los terminales telefónicos de la zona administrativa del edificio de Talleres y Cocheras. Estos teléfonos no podrán comunicarse con los terminales TETRA.

4.15.8.3 Interfonía IP

El sistema de Interfonía estará constituido por interfonos IP que estarán conectados a la Red Integrada de Servicios a través del nodo de comunicaciones de estación y permitirá la comunicación con el Puesto de Mando Centralizado.

Adicionalmente, dichos interfonos dispondrán de una conexión, a través de un contacto libre de potencial con la cámara de video vigilancia más cercana para permitir que, ante la pulsación del interfono, el sistema de telemando de Seguridad posicione automáticamente la visualización de dicha cámara en el monitor del Operador de Atención al Público.

Los interfonos se instalarán integrados en las máquinas de distribución de billetes, así como en las barreras de control de acceso a la estación (a la entrada y salida), para la comunicación directa de los viajeros con el Operador de Atención al Público del Puesto de Mando.

4.15.9 Telefonía de explotación (selectiva)

La Telefonía Selectiva, o Telefonía de Explotación, permitirá implementar un servicio basado en tecnologías de Voz sobre IP a través de una central de tecnología IP.

Las principales características del sistema son las siguientes:

- Este sistema utiliza como soporte para sus comunicaciones la red IP de Comunicaciones Fijas de la explotación.
- Terminales telefonía selectiva en Subestaciones Eléctricas
- Terminales telefonía selectiva en Estaciones
- Terminales telefonía selectiva de intemperie instalados en zonas de maniobras
- Terminales telefonía selectiva instalados en Puesto de Mando Centralizado
- Central de Estación a la que se conectarán los teléfonos asociados a su área de influencia en la línea
- Central y puesto de operación alojado en el PMC

El sistema de Telefonía Selectiva estará basado en transmisión entre la central de estación y la central instalada en el PMC a través de tecnología IP.

El puesto de mando estará formado por la central y el puesto de operador equipado con un terminal PC con pantalla táctil. Para la conexión a la red de comunicaciones fijas IP de la explotación se utiliza módulos pasarelas específicos con configuración redundante. Todos los elementos se alojarán en un rack de mecánica de 19" y 3 U de altura.

Las centrales de estación también incorporarán un módulo pasarela para la conexión redundante con la red de comunicaciones fijas IP. Todo el equipamiento de estación se alojará en un rack de mecánica de 19" y 1U de altura

El sistema de grabación definido anteriormente, permitirá registrar todas las conversaciones en que esté implicado el PMC, independientemente del sistema de audio utilizado.

4.15.10 Sistema de información al viajero (SIV)

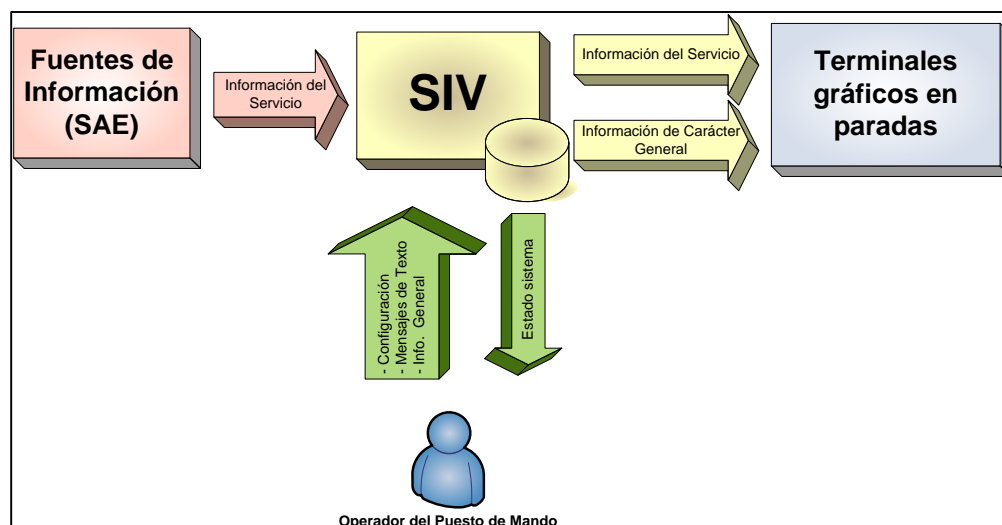
El Sistema de Información al Viajero (SIV) se compondrá de dos núcleos principales, el núcleo de creación, edición y configuración de la emisión de contenidos y el soporte hardware sobre el que dichos contenidos serán distribuidos, es decir, los terminales gráficos.

A continuación, se presenta una relación del tipo de información que presentará el SIV:

- Información del Servicio:
 - Información de localización de las unidades móviles
 - Información de tiempos estimados de llegada a estación de las unidades
 - Incidencias en el servicio
- Información de Carácter General:
 - Contenidos de entretenimiento offline (documentales, vídeos, etc.)
 - Publicidad corporativa
 - Publicidad de terceros

A continuación, se presenta el esquema de los flujos de información que existirán entre los distintos elementos del SIV.

Figura 43. Arquitectura sistema SIV



Fuente: Elaboración propia

4.15.11 Sistemas de Seguridad

Los Sistemas de Seguridad que se implantará en las instalaciones del Regiotram de Occidente son:

- Sistema de Video vigilancia (CCTV)
- Sistemas de Control de Accesos y Detección de Intrusión (CCAA)

Para la prestación de funcionalidades avanzadas se integrará la información generada por los citados sistemas a través de una aplicación de Telemando de Seguridad que permitirá la configuración, control y recepción de alarmas técnicas y operativas de ambos sistemas.

4.15.12 Sistema de Cronometría

El Sistema de Cronometría para el Regiotram de Occidente permitirá:

- Sincronización horaria de equipamiento, para el correcto funcionamiento de los sistemas que lo requieran.
- Suministrar información horaria, sincronizada con la explotación, a usuarios del servicio y al personal en plantilla

El sistema de Cronometría está diseñado con un esquema jerárquico basado en GPS como fuente horaria y el protocolo Network Time Protocol, NTP, para la transmisión de la información horaria desde la central horaria que se instalará en el Puesto de Mando Centralizado hasta los elementos que serán sincronizados. La Red de Servicios Integrados será el medio a través del cual se difundirá dicha información horaria.

4.15.13 Securización

Para garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de las redes y sistemas disponibles en el Regiotram de Occidente, de manera que ésta pueda operar garantizando los requisitos de disponibilidad y seguridad, se implementará un sistema de Securización que permita lo siguiente:

1. Garantizar la integridad de los sistemas de información y evitar manipulaciones intencionadas o errores no intencionales de terceros.
2. Proteger a los sistemas frente a ataques que puedan afectar a su disponibilidad y por tanto permite a la red de transporte operar de forma continua.
3. Procurar la confidencialidad de los datos generados y almacenados por la red y sus sistemas, evitando que terceros no autorizados puedan tener acceso a esta.
4. Permitir una gestión sencilla de los parámetros y reglas de seguridad mediante las interfaces de gestión centralizada.

4.15.14 Sistema SCADA

El sistema Regiotram de Occidente contará con un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos cuenta con software y equipamiento para realizar las funciones de Telemando de Tráfico, Implementación de Sistemas de Telecomunicaciones y Telemandos de Energía y Seguridad.

4.16 CATENARIA Y SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

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

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

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

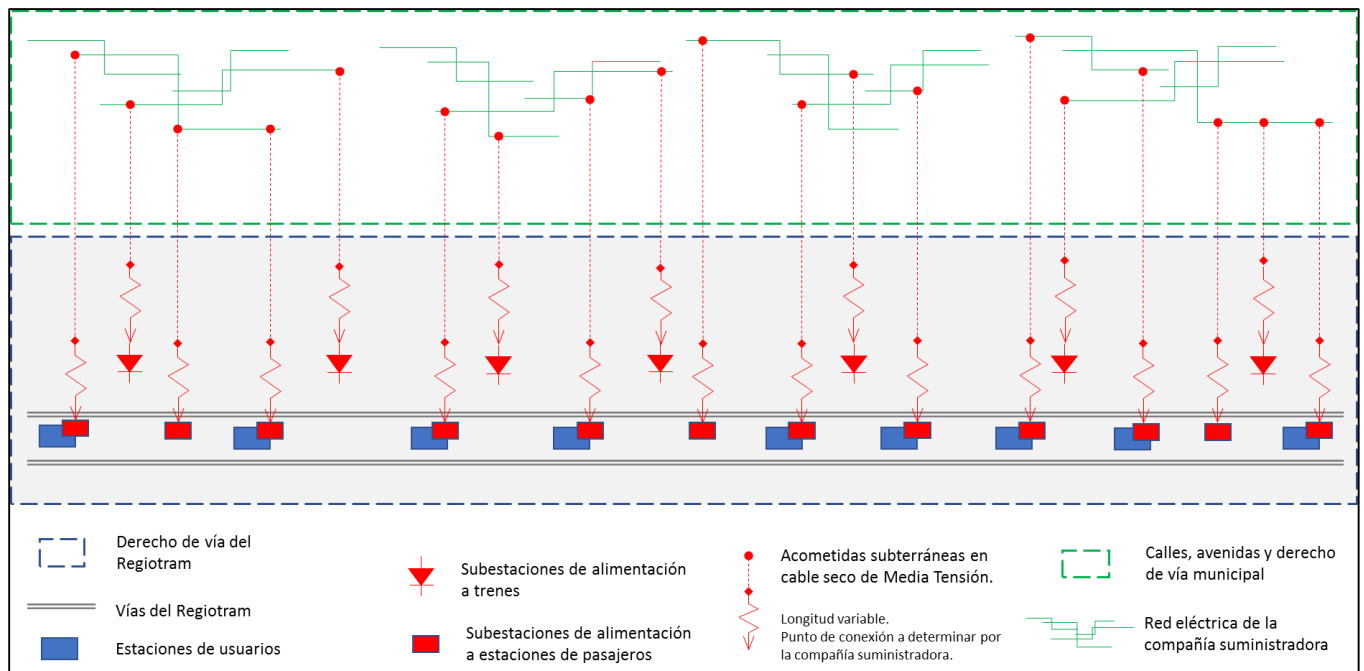
La descripción de la Catenaria comienza en el equipo denominado "punto de inyección" e incluye el circuito de retorno hacia las SR's.

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

4.16.1 ACOMETIDAS ELECTRICAS

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

Figura 44. Esquema de acometidas en Media Tensión.



Fuente: Elaboración propia

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

Así, la tensión de alimentación propuesta por las compañías eléctricas será de 11,4 kV.

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

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

4.16.2 Subestaciones de Rectificación (SR's)

Previamente se ha realizado una simulación para dimensionar la capacidad de los transformadores de tracción, residentes en las Subestaciones de Rectificación (también llamadas Subestaciones de Tracción).

En la siguiente tabla presenta una propuesta de la arquitectura a implementar (GT significa "Grupo de Tracción", es decir, el conjunto Transformador-Rectificador):

Tabla 18: Simulación de tracción.

SR	Arquitectura propuesta
1	2 GT
SR Talleres y Cocheras pk5	2 GT
2	2 GT
3	2 GT
4	2 GT
5	2 GT
6	1 GT
7	1 GT
SR Talleres y Cocheras Corzo (TCO) *	1 GT
8	1 GT
Número de SET	10
Número de GT 2 MW	16

Fuente: Elaboración propia

La simulación tracción arroja como resultado que, en caso de pérdida de subestaciones, se necesitan refuerzos para equipar las subestaciones 4 y 5 de bigrupo tracción en lugar de una unidad de tracción simple (2 x 2000 kW en lugar de 1 x 2000 kW). Se proponen proporcionar bigrupos de tracción en las subestaciones 4, 5 y en la subestación de las cocheras del pk5.

4.16.3 Ubicación de las SR's en el proyecto

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

Tabla 19. Ubicación de las Subestaciones de Rectificación (SR's) del Regiotram.

Subestación de Rectificación	pk	Carga (kW)	Arquitectura propuesta
SR-1 Paloquemao (PAQ)	1+770	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR Talleres (TYC)	5+180	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-2 Montevideo (MON)	6+220	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-3 Catam (CAT)	11+740	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-4 Martínez Rico (MTZ)	17+220	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-5 Santa Ana (SAA)	22+720	4,000	2 Grupos de Tracción 2kW c/u
SR-6 Madrid (MAD)	27+900	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW
SR-7 Río Checua (CHE)	33+580	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW
SR Talleres Corzo (TCO) *	35+840	2000	1 Grupo de Tracción 2kW
SR-8 Facatativá (FAC)	38+560	2,000	1 Grupo de Tracción 2kW

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

Fuente: Elaboración propia

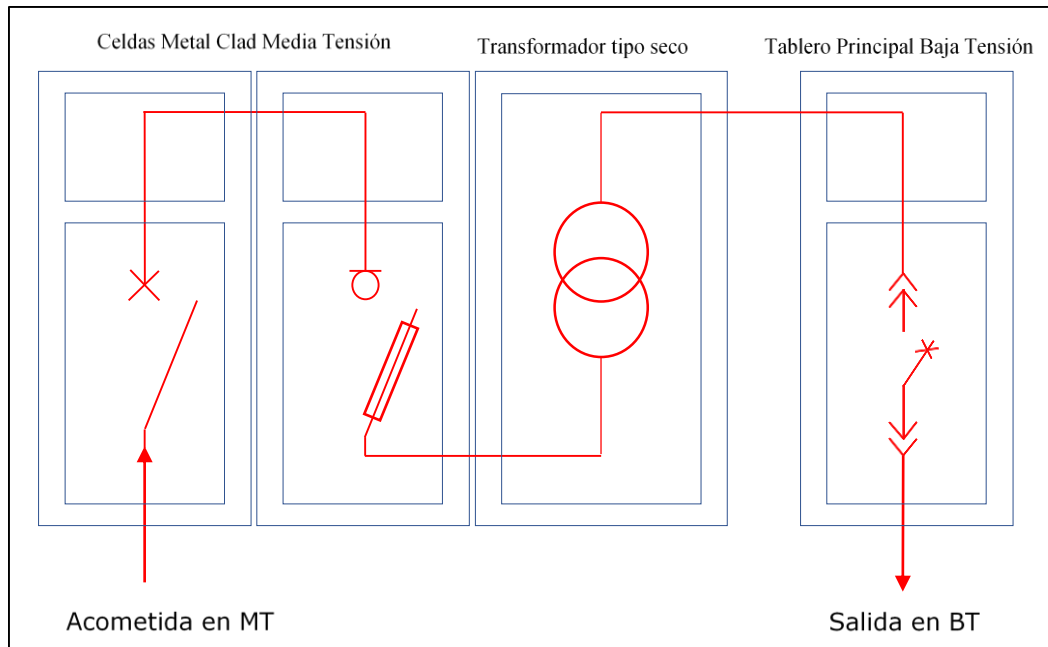
4.16.4 Subestaciones de Alumbrado y Fuerza (SAF's)

Las SAF (Subestaciones de Alumbrado y Fuerza) se encuentran, integrados en los bloques técnicos, cerca de todas las estaciones de pasajeros y en los Talleres y Cocheras. La mayoría de los equipos SAFs se encuentran en los dichos bloques técnicos, pero los tableros secundarios de distribución y demás componentes eléctricos se encontrarán en las estaciones.

Se proporciona un balance de potencia de cada estación, así como de los Talleres y Cocheras, para determinar la potencia de cada transformador, y los niveles de tensión del lado de baja.

Los niveles de tensión del lado de baja deberán ser acorde a los equipos a alimentar, considerando las tensiones normalizadas en Colombia.

Figura 45. Diagrama unifilar SAF.



Fuente: Elaboración propia

4.16.5 Sistema de catenaria

La función de la Línea Aérea de Contacto (LAC) es llevar la energía eléctrica de las subestaciones a los pantógrafos de material rodante.

El LAC debe diseñarse de modo que, considerando todas las fuerzas de tracción y la velocidad máxima del material rodante, el contacto entre el pantógrafo y el hilo de contacto se establezca con la presión suficiente para garantizar una buena captación de corriente, teniendo en cuenta el trazo de la línea y el perfil de la vía.

Para el Proyecto Regiotram se han determinado dos tipos de instalación de catenaria flexible:

- Catenaria tranviaria (hilo de contacto sin sustentador, fijado con ménsulas de material sintético, feeder de acompañamiento aislado, subterráneo). Se utilizará en las zonas urbanas, y en las naves de Talleres y Cocheras.
- Catenaria ferroviaria (hilo de contacto, hilo sustentador y pendolaje, fijados con ménsulas metálicas tubulares, feeder de acompañamiento aislado, subterráneo). Se utilizarán en las zonas suburbanas y en las playas de vías de Talleres y Cocheras.

El sistema de catenaria para el Regio Tram se ha diseñado para las siguientes condiciones de operación:

Tabla 20. Catenaria- condiciones de operación

Tensión nominal	1.500 VCC
Nivel de aislamiento	3.000 VCC
Velocidad máxima	100 km/h

Fuente: Elaboración propia

Las distancias que se indican a continuación serán consideradas como mínimas entre la catenaria y los vehículos y no deberán ser alteradas aún en las condiciones de operación más desfavorables.

Tabla 21. Distancias mínimas entre catenaria y vehículos

Distancias mínimas		
Partes metálicas bajo tensión hacia el perfil de los vehículos		115 mm
Partes metálicas bajo tensión hacia tierra en posición de reposo	Hormigón	100 mm
	Metal	115 mm
Partes metálicas bajo tensión hacia tierra en posición deformada por el pantógrafo	Hormigón	80 mm
	Metal	100 mm
Pantógrafo hacia edificios, estructuras, puesta a ménsulas		150 mm
Pantógrafo hacia partes metálicas inclusive ménsulas	Perpendicular al eje de vías	150 mm
	Paralelo al eje de vía	150 mm

Fuente: Elaboración propia

4.16.5.1 Catenaria tranviaria

Para las zonas dichas "urbanas", y las naves de Talleres y Cocheras, se ha proyectado un sistema de catenaria tipo tranviaria: hilo de contacto sin sustentador, fijado con ménsulas de material sintético, que permite la circulación de trenes a velocidades inferiores a 70 km/h y con una integración urbano armoniosa.

La longitud del seccionamiento tipo será de 1.200 m, contado de anclaje a anclaje. Todos los cantones serán compensados en ambos extremos. Se compensarán solamente en un extremo aquellos seccionamientos cuya longitud sea igual o menor de 550 m.

La compensación de la catenaria se realizará mediante equipos de regulación adecuados. Los postes de anclaje utilizados en la compensación deberán respetar el cálculo justificativo de todos los perfiles.

4.16.5.2 Catenaria ferroviaria.

Para las zonas suburbanas y las playas de vías de Talleres y Cocheras, se ha proyectado un sistema de catenaria poligonal y atirantada formada por hilo de contacto y un hilo sustentador con péndolas equipotenciales (por péndola equipotencial debe entenderse aquella que incluye gazas o rabillos destinados a garantizar la continuidad eléctrica y el soporte mecánico entre el hilo sustentador y el hilo de contacto, al paso del pantógrafo), lo que permitirá la circulación de trenes a velocidades de 100 km/h.

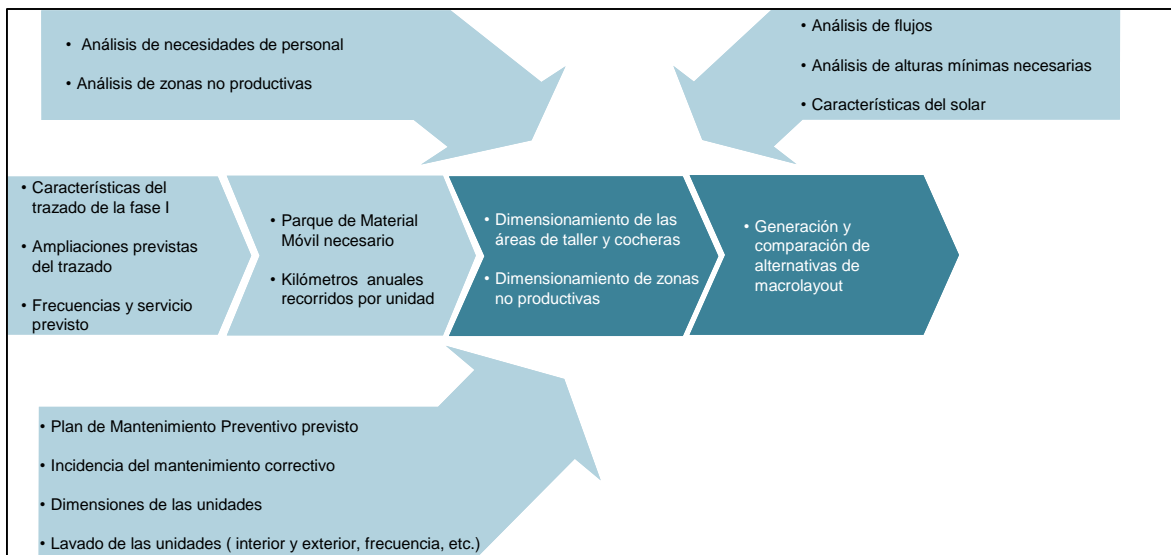
La longitud del seccionamiento tipo será de 1.200 m, contado de anclaje a anclaje. Todos los cantones serán compensados en ambos extremos. Se compensarán solamente en un extremo aquellos seccionamientos cuya longitud sea igual o menor de 550 m.

La compensación de la catenaria se realizará mediante equipos de regulación adecuados. Los postes de anclaje utilizados en la compensación deberán respetar el cálculo justificativo de todos los perfiles.

4.17 COCHERAS Y TALLERES

Para dimensionar los talleres y cocheras se ha utilizado la metodología que se observa en la siguiente imagen:

Figura 46. Hipótesis de Dimensionamiento



Fuente: Elaboración propia

Para reducir los kilómetros no comerciales, es preferible dividir los vehículos sobre dos sitios más cerca de las terminales, por lo cual se ha tomado la decisión de utilizar los predios que se encuentran

localizados en el PK5 (cerca Bogotá) y El Corzo (cerca a Facatativá y Madrid), donde funcionan los talleres y depósitos de la red férrea actual.

Para asegurarse que los sitios son suficientes para cualquier futura ampliación, se considera un diseño con 60 unidades, con modularidad en los sitios de ampliación, distribuidas así:

Tabla 22. Material Móvil

Sitio	Primera Fase	Segunda Fase
PK5	12 unidades	24 unidades
El Corzo	24 unidades	36 unidades

Fuente: Elaboración Propia

4.17.1 Patio del PK5

El lote del "PK5" tiene una superficie aproximada de 32.000 m² y forma alargada ligeramente trapezoidal. Las condiciones del límite de la misma son:

- Noreste: vía general del LRT junto a la calle 22
- Suroeste: Edificaciones industriales

Existe actualmente una antigua playa de vías en el lote la cual es utilizada por el actual concesionario que opera el corredor Bogotá – Facatativa y Bogotá - Belencito.

Figura 47. Emplazamiento propuesto PK5 para los talleres y cocheras del corredor Occidente



Fuente: Elaboración propia

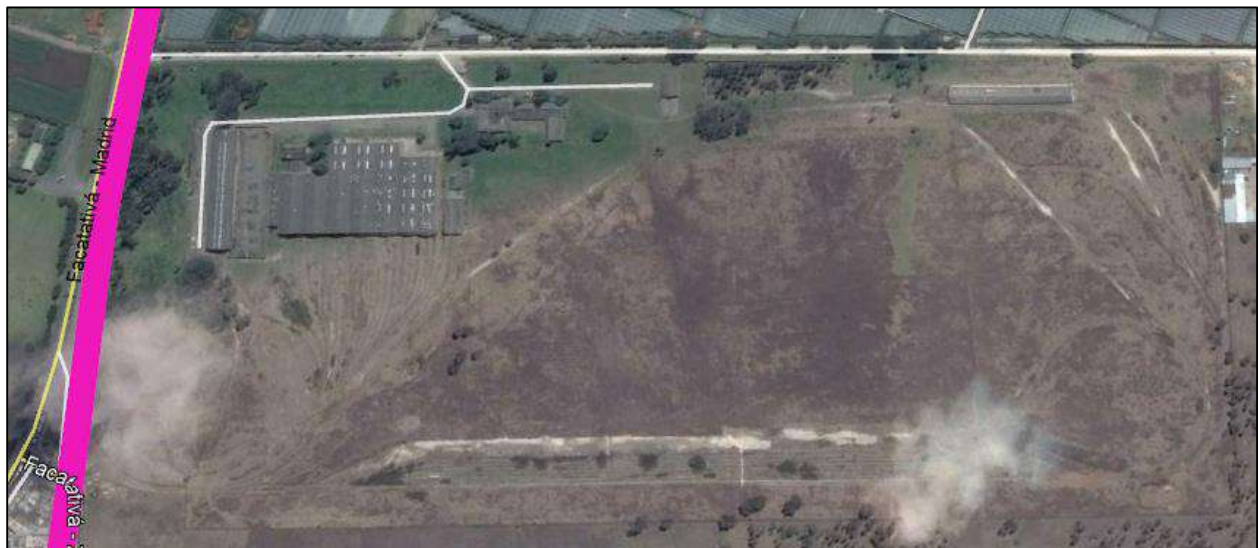
4.17.2 Talleres de El Corzo

El lote de “El Corzo” tiene una superficie aproximada de 482.655 m² y forma alargada ligeramente rectangular. Las condiciones del límite de la misma son:

- Norte: vía general del LRT junto a la carrera Facatativá - Madrid
- Oeste: Edificaciones agrícolas junto a carrera Facatativá - Zipacon
- Este y Suroeste: Edificaciones agrícolas

Actualmente existe una antigua playa de vías y los talleres de la Concesión de ANI.

Figura 48. Emplazamiento propuesto El Corzo para los talleres y cocheras del Regiotram de Occidente



Fuente: Elaboración propia

4.18 AFECCIONES A SERVICIOS

4.18.1 Redes Secas

Para el análisis de redes secas se realizó una actualización a la factibilidad presentada en el 2017 por el originador del Proyecto, basados en esta información, con información secundaria solicitada a los operadores de las redes y con la inspección visual se actualizó el inventario de redes de energía, telecomunicaciones, Gas y Poliductos existentes; y considerando el Diseño Geométrico, urbanismo, recomendaciones dadas por otras especialidades, y demás normatividad vigente, se proponen soluciones a las interferencias identificadas en el inventario.

4.18.1.1 Empresas prestadoras del Servicio de Energía

- **CODENSA SA ESP:** Operador de Red de la ciudad de Bogotá DC, Codensa, es el encargado de la operación y mantenimiento de las redes eléctricas y de alumbrado público - AP, las redes de Codensa tienen presencia en todo el trazado del proyecto.
- **UAESP:** Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, por disposición de la alcaldía Mayor de Bogotá, la UAESP es la entidad encargada de todos los temas relacionados con el Alumbrado Público (AP), esta entidad maneja un convenio con Codensa, donde Codensa Realiza las labores de operación y mantenimiento de las redes existentes de AP, y la UAESP, aprueba los planes de Expansión y/o mejoramiento de las redes de AP; en el proyecto tenemos redes de AP en las zonas pertenecientes a la ciudad de Bogotá.
- **ALCALDÍAS MUNICIPALES:** Para los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá, las redes de alumbrado público, son responsabilidad directamente de las alcaldías municipales, de acuerdo con lo anterior las solicitudes y tramites respectivos se deben adelantar ante las alcaldías o secretarías delegadas para tal fin.

4.18.1.2 Empresas Prestadoras del Servicios de Telecomunicaciones

- **EMPRESA DE TELÉFONOS DE BOGOTÁ (ETB):** Empresa encargada de operar redes de telecomunicaciones en la ciudad de Bogotá, opera redes de Fibra Óptica y redes de Comunicación en diferentes tecnologías, sus redes están presentes en toda la ciudad de Bogotá.
- **TELMEX COLOMBIA S.A. (CLARO):** Claro es una empresa proveedora de servicios de telecomunicación, fijo y móvil, opera redes de Fibra Óptica y redes de Comunicación en diferentes tecnologías, sus redes están presentes en toda la ciudad de Bogotá.
- **UNE TELECOMUNICACIONES:** UNE es una empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones, opera redes de Fibra Óptica y redes de Comunicación en diferentes tecnologías, sus redes están presentes en toda la ciudad de Bogotá.
- **COLOMBIA TELECOMUNICACIONES S.A. E.S.P (MOVISTAR):** MOVISTAR es una empresa proveedora de servicios de telecomunicación, fijo y móvil, opera redes de Fibra Óptica y redes de Comunicación en diferentes tecnologías, sus redes están presentes en toda la ciudad de Bogotá.

4.18.1.3 Otros propietarios de redes y/o equipos

- **SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD (SDM):** es un organismo del Sector Central con autonomía administrativa y financiera que tiene por objeto orientar y liderar la formulación de las políticas del sistema de movilidad, el cual tiene a su cargo la red de **semáforos** en la ciudad de Bogotá.
- **SECRETARIA DISTRITAL DE SEGURIDAD, CONVIVENCIA Y JUSTICIA (SCJ):** Es un organismo del sector central con autonomía administrativa y financiera, cuyo objeto consiste en orientar, liderar y ejecutar la política pública para la seguridad ciudadana, convivencia y acceso a los sistemas de justicia; la cual tiene bajo su responsabilidad el sistema cámaras de vigilancia y seguridad en la ciudad de Bogotá.

4.18.1.4 Redes de Gasoductos

- **GAS NATURAL SA ESP (VANTI):** (Gas Natural – Gas Natural Cundiboyacense SA ESP.) Empresa de servicios públicos dedicada a la distribución y comercialización del gas natural en la ciudad de Bogotá, Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá

4.18.1.5 Redes de Poliductos

- **ANH:** Agencia Nacional de hidrocarburos, **ECOPETROL**, Empresa Colombiana de Petróleos, y **CENIT**, transporte y Logista de hidrocarburos; estas son las entidades identificadas encargadas de las redes de Poliductos presentes en Bogotá y sabana.

4.18.2 Redes Húmedas

La base para establecer las interferencias de las redes de acueducto, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial del tramo del corredor férreo ubicado entre la abscisa K0+994 hasta el K0+36.500 en el municipio de Facatativá fueron los planos suministrados por el originador. Esta Consultoría no hizo ningún levantamiento topográfico en este tramo, por lo cual la única actividad fue certificar los pozos, cajas de válvulas y demás aditamentos propios de las redes húmedas, que se podían observar a simple vista en recorridos sobre el corredor férreo.

En la ciudad de Bogotá, fuera de la inspección física, se contó con la información aportada por los planos de la EAAB, con lo cual se comparaba la información de los planos del originador con los planos de la EAAB. Se encontraron pocas variaciones en cuanto a redes y accesorios de las redes húmedas. Estas variaciones fueron actualizadas y colocadas en la tabla de interferencias y dibujadas en los planos de interferencias.

En este sector se evidenció que hay interferencias que pueden tener una mayor longitud de recubrimiento, específicamente la red matriz de 42 pulgadas que va paralelo a la faja del corredor en cercanías de la carrera 68, pues al constatar con el visor del EAAB se determina que la red matriz puede verse afectada por las intervenciones a realizar en este tramo. Otro sector que se le amplió la zona de interferencia es al box coulvert ubicado debajo del corredor entre las carreras 95 a la carrera 102, por toda la calle 22.

En los demás centros poblados como son los municipios de Mosquera, Funza, Madrid y Facatativá, se revisó la información de catastro entregados por las respectivas administraciones municipales. De hecho, los planos más completos fueron los entregados por el municipio de Madrid, se cotejó la información de los planos de catastro contra los planos del originador, siendo coincidentes. Se advierte que los planos remitidos por las diferentes entidades municipales no son recientes y por consiguiente no están actualizados. Esto se puede apreciar específicamente en el municipio de Madrid donde instalaron un colector de aguas lluvias paralelo al corredor férreo que descarga sus aguas en el río Subachoque. Por consiguiente, se mantienen las mismas interferencias reportadas por el originador para los tramos ubicados dentro de los municipios.

4.19 ESTUDIO AMBIENTAL Y SOCIAL

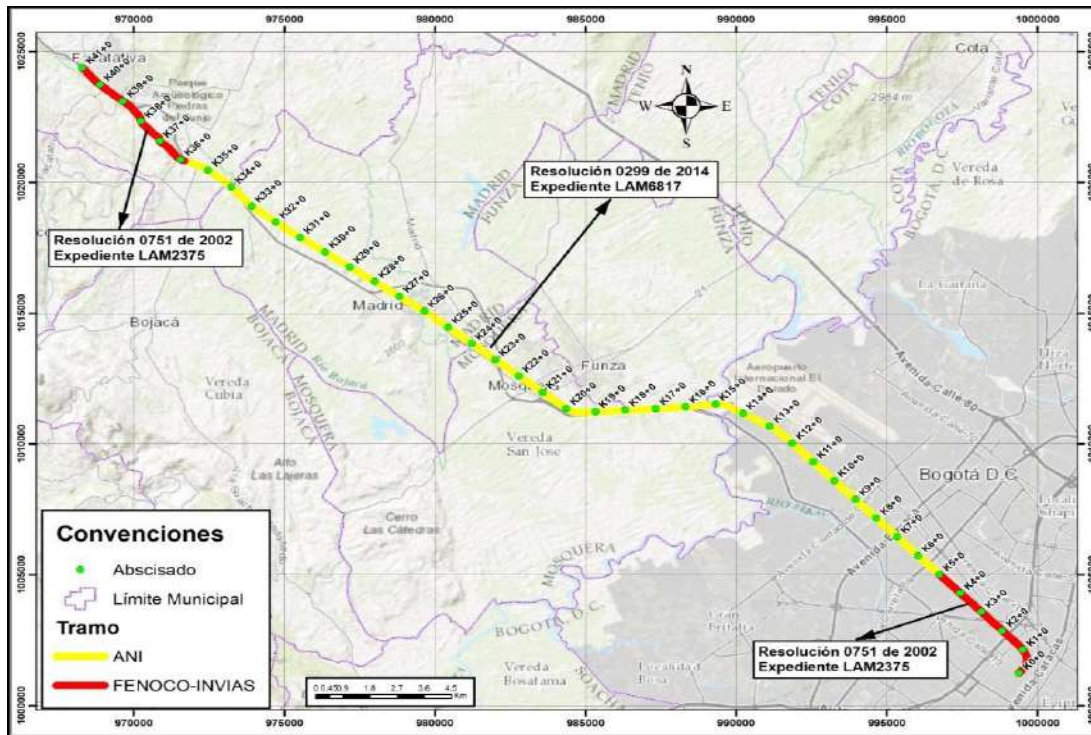
4.19.1 Instrumento ambiental actual

El proyecto se desarrollará en el corredor existente del Tren de Occidente con una longitud de 39,6 km, de los cuales 24,9 km se encuentran en la zona suburbana y 14,7 km en la zona urbana, manteniendo un paralelismo relativo a las Calles 26 y Calle 13 que atraviesa la ciudad de oriente a occidente, así mismo generaría una interacción física con la Primera Línea del Metro de Bogotá - "PLMB" en la futura estación del Metro de la Calle 26 con Avenida Caracas a través de un ramal denominado "Ramal al Metro" del proyecto Regiotram de Occidente.

Actualmente el tramo de interés para el proyecto Regiotram de Occidente cuenta con dos encargados de su uso la ANI y FENOCO.

- La infraestructura actual existente en el corredor férreo nacional entre el PK 0+000 y el PK 39+553 (Abscisas del Sistema Férreo Existente, en adelante "ASFE"), está amparado en el Plan de Manejo Ambiental contenido en la Resolución 0751 de 2002, originalmente impuesto a Fenoco.
- El Plan de Manejo Ambiental fue cedido parcialmente de Fenoco a la ANI en virtud de la Resolución 0299 de 2014.
- Actualmente, el corredor férreo nacional comprendido entre el PK 0+000 y PK 4+999 - ASFE; así como el corredor férreo nacional comprendido entre el PK 35+878 y PK 39+553 - ASFE están en cabeza de Fenoco, amparado en los actos administrativos contenidos en el expediente LAM2375 y el corredor férreo nacional comprendido entre el PK 5+000 y PK 35+877 - ASFE está en cabeza de la ANI, amparado en los actos administrativos contenidos en el expediente LAM6817. (Ver Figura 49 Localización corredor férreo existente por tramos y expedientes.).

Figura 49 Localización corredor férreo existente por tramos y expedientes.



Fuente: Elaboración propia

Considerando que hoy en día el corredor férreo está autorizado por la ANLA bajo el Plan de Manejo Ambiental establecido, se ha considerado por parte de la ANI y Fenoco plantear la cesión parcial de los tramos antes mencionados con el fin de reconfigurar el corredor férreo cuyo objetivo será implementar, construir y operar el proyecto “Regiotram de Occidente”.

Los antecedentes como tal que enmarcan este proyecto son de dos tipos, el primero corresponde al instrumento de manejo ambiental que se dispone actualmente (PMA) y el segundo respecto a las solicitudes de pronunciamiento realizadas previamente a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA

- En primera instancia, en el año 2000 la Empresa Colombiana de Vías Férreas FERROVIAS, informa a la Autoridad Ambiental competente del Contrato de Concesión con la Empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. (FENOCO), quien será la encargada de gestionar los permisos y autorizaciones ambientales para el proyecto. Por tal motivo, el 23 de octubre de 2000 la Empresa FENOCO presentó un Plan de Manejo Ambiental - PMA, el cual fue revisado por la Autoridad Ambiental de ese entonces Ministerio del Medio Ambiente, que a través de la Resolución 0751 del 05 de agosto de 2002, estableció el PMA para el “*proyecto de rehabilitación, conservación y mantenimiento de la red férrea*” en los sectores. Bogotá - Santa Marta; Bogotá - Belencito; La Caro - Lenguaque y Bello - Puerto Berrio - Expediente LAM 2375.

- La empresa Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. - FENOCO, solicitó autorización a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA para realizar cesión parcial de los derechos y obligaciones que se derivan del Plan de Manejo Ambiental autorizado mediante Resolución 0751 de del 5 de agosto de 2002 y sus respectivos actos administrativos de modificación a favor de la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI.

La Cesión parcial de derechos y obligaciones del PMA en mención fue autorizada por la ANLA mediante Resolución 0299 del 28 de marzo de 2014, por lo tanto, la ANI en su calidad de cesionario quedo a cargo de los derechos y obligaciones para los siguientes tramos:

1. Tramo Bogotá – Santa Marta

- Bogotá – Facatativá PK0+000-PK035+877 - ASFE
- La Dorada – Grecia PK200+000-PK328+100
- Grecia – San Rafael de Lebrija PK328+100-PK521+100
- San Rafael de Lebrija- Chiriguaná PK521+100-PK722+683.15
- Ramal Puerto Acapulco PK597+394.08 (Cambiavías sur) PK598+253.54 (Cambiavías norte) que finaliza en la abscisa PK601+976.2

2. Tramo La Caro – Lenguazaque:

- La Caro – Zipaquirá K033+628-K053+000

3. Tramo Bello – Puerto Berrío

- Grecia – Cabañas K326+000-K361+199

4. Tramo Bogotá – Belencito (PK0+000-PK262)

- Bogotá (PK005+000) – Belencito (PK262+000)

Por lo tanto, La sociedad Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A – FENOCO en su calidad de cedente quedó a cargo de los derechos y obligaciones del PMA en mención para los siguientes tramos:

1. Tramo Bogotá – Santa Marta

- Chiriguaná – Santa Marta PK722+683.1-PK969+000
- Facatativá – La Dorada PK035+877-PK200+000

2. Tramo La Caro-Lenguazaque

- Zipaquirá-Lenguazaque PK053+000-PK110+000

3. Tramo Bello – Puerto Berrío

- Cabañas-Bello (PK361+199-PK509+000)

4. Tramo Bogotá – Belencito (PK0+000-PK262)

- Estación La Sábana-K.5, en una longitud de 5km.

Por lo anterior, y para la ejecución del proyecto Regiotram de Occidente los tramos de interés para la ejecución del proyecto son:

Tabla 23 Descripción de tramos y expedientes existentes

Beneficiario	Acto Administrativo	Tramo	Subtramo
FENOCO	Resolución 0751 de 2002. EXP LAM2375	Tramo Bogotá – Belencito (PK0+000-PK262)	Estación La Sábana-K.5, en una longitud de 5km.
ANI	Resolución 0299 de 2014. EXP LAM6817	Tramo Bogotá – Santa Marta	Bogotá – Facatativá PK0+000-PK035+877 - ASFE
FENOCO	Resolución 0751 de 2002. EXP LAM2375	Tramo Bogotá – Santa Marta	Facatativá – La Dorada PK035+877 (ASFE)- Estación Facatativá Calle 9

Fuente: Elaboración propia.

4.19.2 Pronunciamientos de la Autoridad Ambiental ANLA

En septiembre de 2014, mediante radicado No 4120-E2-42809 del 8 de septiembre de 2014, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales desde ahora ANLA, emite respuesta a consulta realizada por el Originador del proyecto “Solicitud de Información acerca de los estudios ambientales APP Metro ligero de la sabana –Regiotram. Expediente LAM 2375, DPE 4182-14.

En esta comunicación la ANLA establece los siguientes lineamientos:

- “(...) En relación a su consulta a esta autoridad sobre los estudios ambientales requeridos para la construcción y rehabilitación o mejoramiento de los corredores Occidente y Sur, para la Asociación Público Privada –APP- mencionada, nos permitimos informarle que de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0299 del 28 de marzo de 2014 de la ANLA: “por la cual se autoriza la cesión parcial del plan de manejo ambiental establecido mediante resolución 0751 del 5 de agosto de 2002”, los tramos mencionados en el oficio con radicado No 4120-E1-42809 de 19 de agosto de 2014, fueron cedidos parcialmente de FENOCO a la Agencia Nacional de Infraestructura –ANI.

Por lo tanto, es responsabilidad de la ANI adelantar los trámites y requisitos necesarios para la rehabilitación de los corredores en referencia ante esta autoridad” (...).

- “(...) Ahora bien frente a las siguiente afirmación: (...) Consideramos que por el tipo de intervención del proyecto “mejoramiento en proyectos de infraestructura de transporte”, de acuerdo con lo expresado en el decreto 769 del 22 de abril de 2014 y la ley 1682 de 2013 este tipo de proyectos no requiere de Licencia Ambiental (...) esta Autoridad le indica lo siguiente: en primera instancia, no se dispone de la información necesaria y suficiente en cuanto a las obras de adecuación y/o construcción que se llevarán a cabo, por lo cual no es posible tomar una decisión en este momento sobre el trámite administrativo a seguir. Por lo anterior, el solicitante deberá presentar la información completa en relación a los tramos en referencia y las obras a desarrollar para su evaluación y así determine el procedimiento a seguir. (...)”

En junio de 2015, mediante radicado 2015025723-2-001 del 30 de junio de 2015 la-ANLA- emite respuesta a consulta realizada nuevamente por el originador del proyecto "Solicitud de pronunciamiento necesidad Licencia Ambiental Tren Ligerero en Bogotá – Regiotram Corredor Occidente – DPE2150-00-2015 –DPE2250-002015.

En esta comunicación la ANLA expresa los siguientes aspectos:

- "(...)En atención a la comunicación del asunto, mediante la cual solicita a esta Autoridad concepto sobre la necesidad o no de Licenciamiento Ambiental para la ejecución del proyecto denominado "Implantación de un Tren Ligerero en Bogotá – Regiotram" – Corredor Occidente en la ciudad de Bogotá D.C., y expone que en relación con la infraestructura "El noventa y siete por ciento (97% del trazado, es decir 39.3km. del proyecto discurre por el corredor férreo del antiguo ferrocarril de occidente...mientras que 1.2Km (3%) del trazado discurre por las calzadas centrales de la calle 19 desde la carrera 8 aproximadamente, en lo que se conoce como "ramal Carrera 10..", así como el pronunciamiento para la ejecución del proyecto denominado "Implantación de un tren Ligerero en Bogotá – Regiotram Corredor Sur en la Ciudad de Bogotá D.C., damos respuesta realizando las siguiente precisiones:

1. Para el corredor Occidente en la ciudad de Bogotá D.C., es de anotar que:

- El 97% del trazado del proyecto (39.3Km) está contenido en el corredor Bogotá (PK005+000) – Belencito (PK262+000), cedido a la ANI mediante Resolución 0299 de 2014 y que cuenta con Plan de Manejo Ambiental establecido mediante Resolución 0751 de 2002.
- El pronunciamiento sobre el uso y/o aprovechamiento de los recursos naturales del restante 3% del trazado y conocido como "ramal Carrera 10", es de competencia de la Secretaría Distrital de Ambiente de conformidad con lo establecido en el decreto 109 de 2009, en concordancia con la ley 99 de 1993 (artículos 66 y 31).

Visto lo anterior, esta autoridad le informa que teniendo en cuenta que el 97% del proyecto se encuentra dentro del Plan de Manejo Ambiental establecido por la Resolución 0751 del 5 de agosto de 2002, esta Autoridad considera que de conformidad con lo establecido en el artículo 2.2.2.3.8.9 del decreto 1076 de 2015 usted deberá solicitar modificación del PMA, con el lleno de los requisitos en el artículo 2.2.2.3.7.2 del citado decreto(...)"

En mayo de 2015, la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI informa a la ANLA mediante radicado No 2015026231-1-1-000 del 20 de mayo de 2015 que:

"(...) recibió de la compañía Estructura Plural Regiotram; la propuesta de proyecto APP Asociación Público Privada, denominado "Implantación de un tren ligero en Bogotá – Regiotram" – Corredor Occidente el cual se proyecta sobre el actual corredor férreo que de Bogotá conduce a Facatativá, corredor que cuenta con un PMA aprobado según Resolución 0751 de 5 de agosto de 2002, del entonces Ministerio del Medio Ambiente y cedió parcialmente a la Agencia Nacional de Infraestructura a través de la Resolución 0299 del 28 de marzo de 2014.

En el marco del proyecto propuesto, se pretende desarrollar las siguientes actividades dentro del corredor férreo actual:

1. *Rehabilitación para el cambio de trocha*
2. *Ampliación de la Línea Férrea*
3. *Construcción de estaciones*
4. *Construcción de línea paralela a la existente*

En virtud de lo anterior, de manera cordial solicitamos a ustedes se evalúe si dichas actividades aplican dentro del giro ordinario o cambios menores establecidos en los decretos 20141 del 15 de octubre de 2014 y 770 del 22 de abril de 2014; puesto que las actividades se desarrollarán en el corredor establecido en el PMA y no implican impactos adicionales a los inicialmente identificados y dimensionados en dicho PMA" (...)

En agosto de 2015, la ANLA mediante radicado No 2015043255-2-000 del 18 de agosto de 2015 da respuesta a la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI en los siguientes términos:

"(...) es de anotar que la información presentada por usted no brinda detalles sobre las actividades que se pretenden realizar en el marco del proyecto de Implantación de un tren ligero propuesto por la compañía Estructura Plural Regiotram; en tal sentido no es posible determinar por parte de esta Autoridad, si con el desarrollo de las actividades mencionadas se causan o no impactos ambientales adicionales a los identificados en el PMA establecido en la Resolución 0751 del 05 de agosto de 2002 y sus respectivas modificaciones.

Así las cosas y dado que el documento presentado, no informa acerca de cuáles serán las actividades de rehabilitación para el cambio de trocha, como tampoco las condiciones en las que se ampliaría la línea férrea y no se indica la ubicación, áreas y demás detalles para la construcción de estaciones, esta Autoridad requiere información más detallada acerca de las actividades a desarrollar, justificando que se da cumplimiento a las condiciones establecidas en el Artículo 2.2.2.6.1.1 del Decreto 1076 del 2015; a fin de determinar si las actividades mencionadas corresponden a un cambio menor o ajuste normal dentro del giro ordinario de las actividades licenciadas.

De otra parte, se encuentra que dentro de las actividades a realizar por el proyecto de Implantación de un tren ligero se incluye la actividad relacionada con la construcción de la línea paralela a la existente, actividad que se encuentra relacionada en el artículo 2.2.2.6.1.4 del decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, en el cual se listan los cambios menores o ajustes normales en proyectos del sector infraestructura de transporte para el modo terrestre férreo así,

1. *Ampliación de las líneas férreas y/o construcción de líneas paralelas a las existentes y demás obras asociadas a unas y otras siempre y cuando la actividad:*
 - a. *Se encuentren el corredor licenciado*
 - b. *No pasen por centros poblados*
 - c. *No impliquen reasentamientos ni reubicación*
 - d. *No implique la construcción de túneles*

- e. *Si se realizan cortes, éstos no generen impactos en zonas de nacederos y su zona de ronda, abatimiento de agua por desconfinamiento de acuíferos y/o desestabilización de macizos rocosos.*
- f. *No se realicen rellenos en humedales y/o morichales y esteros.*

De lo anterior se resalta que el mencionado Artículo indica que la actividad puede ser considerada como un cambio menor siempre y cuando se cumplan unas condicionantes, entre las cuales se encuentran que el corredor no pase por centros poblados, situación que no es lo suficientemente clara en la solicitud presentada por usted; sin embargo, con la información que se tiene en esta entidad sobre el proyecto, el corredor férreo cruza centros poblados en la ciudad de Bogotá y en los municipios de Mosquera, Funza y Facatativá.

En tal sentido dicha actividad no se ajusta a lo establecido en la normatividad ambiental vigente como un cambio menor o ajuste normal del proyecto, de manera que se deberá adelantar el respectivo trámite de modificación de la licencia ambiental de que trata el decreto 1076 del 26 de mayo de 2015 en su artículo 2.2.2.3.7.1" (...).

Por lo expuesto, una vez evaluados los posibles instrumentos que se tienen como precedentes, se tiene claridad que no es aplicable efectuar un mejoramiento con la implementación de un PAGA, ni tampoco aplica un Giro Ordinario, dado que no se cumplen con el total de condicionantes establecidos en el Artículo 2.2.2.5.2.1 y el Artículo 2.2.2.6.1.4 del Decreto 1076 de 2015, toda vez que en los casos expuestos, el proyecto Regiotram de Occidente implica generar reasentamiento y reubicación de población.

4.19.1 Tramite ANLA

Por medio del comunicado G/207 de fecha 12 de junio de 2019, la EFR realiza la Solicitud de pronunciamiento sobre la no necesidad de elaboración de Diagnóstico Ambiental de Alternativas para el proyecto denominado "Regiotram de Occidente" ubicado entre los municipios de Facatativá – Madrid – Mosquera – Funza – Bogotá D.C., en el Departamento de Cundinamarca, incluido el Ramal al Metro, a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

Lo anterior, soportado en que el Proyecto Regiotram de Occidente (desde el PK 0+900 y hasta el PK 39+553 "ASFE", incluyendo el ramal Metro) es un Proyecto que no requiere Diagnóstico Ambiental de Alternativas ya que el mismo se ha de estructurar sobre el corredor férreo existente (el cual estará disponible al momento de solicitarse la respectiva licencia ambiental) junto con el ramal Metro.

De manera que al no haber otras alternativas para el Proyecto (incluyendo su ramal Metro) no se requiere una definición sobre el particular por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, autoridad competente en este caso en razón a que el corredor continuará manteniendo su condición de corredor de la vía férrea nacional junto con sus variantes (ramal Metro) según lo dispuesto el numeral 8.3 del artículo 2.2.2.3.2.2 del Decreto 1076 de 2015.

4.19.2 Información sobre la presencia de comunidades en el área de influencia del proyecto

Como parte de la caracterización económica y cultural, el día 15 de febrero de 2019 mediante Comunicación con radicado EXTM119-5620 se realizó la consulta a la dirección de Consulta previa del

Ministerio del Interior sobre la presencia o no de grupos étnicos en el Área de Influencia del proyecto, cuya respuesta certifica que **no se registra** presencia de comunidades étnicas en el área del proyecto, lo cual se determinó mediante la certificación Número 0099 del 28 de febrero de 2019 del Ministerio del Interior.

4.20 AFECTACIÓN SOCIO - PREDIAL

4.20.1 Definición del Polígono de Afectación Predial

Para el desarrollo del estudio de estructuración se generó un polígono que determina y limita la afectación predial del proyecto el cual se denominó "FRANJA DE COMPRA". En la definición de la franja de compra se tuvo en cuenta tanto la normatividad de orden nacional como regional y municipal en cuanto a los retiros que se deben presentar para vías férreas. Se realizó un análisis de lo consignado en la Ley 76 de 1920, la cual sirve de base para las normas regionales y municipales en el ámbito analizado, a su vez se verificaron las escrituras públicas de los predios pertenecientes al INVIAS en la zona de estudio y los planos que se protocolizaron mediante estos instrumentos.

Si bien el artículo 3º de la Ley 76 de 1920 manifiesta que "*En los terrenos contiguos a la zona de un ferrocarril no podrán ejecutarse, a una distancia de menos de veinte metros a partir del eje de la vía, obras que perjudiquen la solidez de ésta, tales como excavaciones, represas, estanques, explotación de canteras y otras semejantes. (...)*", este no hace referencia específica a la adquisición de terrenos; se limita a prohibir la ejecución de obras en los terrenos contiguos al ferrocarril. En el mismo sentido, se pudo apreciar en las escrituras públicas verificadas por el equipo estructurador, que no se realizó la compra de una franja uniforme de terreno sobre toda la extensión del ferrocarril, encontrando un ancho mínimo de 12 metros.

Teniendo en cuenta que la zona donde se desarrollará el proyecto presenta afectación sobre suelo urbano en los diferentes municipios, se decidió mantener el ancho mínimo presupuestado para la operación del ferrocarril definido en la tabla Tabla 6. Definición plataforma por tramo, que corresponde a un ancho de faja entre 8 y 12 metros.

Es importante indicar que se presenta sobreposición de las áreas requeridas con las áreas adquiridas previamente por el INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – INVIAS, pero de acuerdo a la información catastral y jurídica analizada para esta fase se incluyen dentro de los predios afectados, con la recomendación que dentro de las etapas posteriores se realice un análisis a los títulos que hacen parte de la tradición del derecho de dominio de los últimos veinte (20) años o más, con el fin de determinar junto con el componente técnico, los linderos de los inmuebles en campo para conceptuar respecto al procedimiento de adquisición de estas áreas de terreno y/o mejoras de conformidad con la normatividad vigente.

4.20.2 Identificación de predios afectados por municipio

Mediante el uso de una herramienta SIG, información secundaria y visitas de campo, fue posible cruzar el polígono general de afectación con los polígonos prediales considerados para obtener la cantidad de predios afectados por municipio, tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 24: Predios Afectados por municipio

Municipio	Expansión	Rural	Urbano	Total general
Facatativá	8	6	7	21
Funza	14	0	4	18
Madrid	0	10	17	27
Mosquera	0	0	21	21
Bogotá	3	0	9	12
Total general	25	16	58	99

Es importa te indicar que estos predios pueden ser objeto de modificación o ajuste cuando se cuente con la ingeniería de detalle, dado que el uso de herramientas SIG, se realizó con información secundaria, lo que requirió el ajuste de la capa de predios y construcciones recibida de las entidades catastrales correspondientes, verificado en visitas de campo y apoyado en servicios de imágenes online sobre la zona de estudio.

4.20.3 Identificación social de los predios afectados

Teniendo como base la información técnica en sus levantamientos y estudios de títulos, el equipo social realizó un recorrido en terreno a lo largo de todo el corredor para verificar los predios afectados y elaborar así el listado final de predios que tendrían algún tipo de afectación.

Tabla 25: Predios y unidades sociales afectadas

Municipio	Rural	Urbano	Expansión	Predios Visitados	Unidades Sociales censadas	Total
FACATATIVA	6	7	8	23	23	21

Municipio	Rural	Urbano	Expansión	Pedios Visitados	Unidades Sociales censadas	Total
FUNZA	0	4	14	6	8	18
MADRID	10	17	0	3	3	27
MOSQUERA	0	21	0	2	2	21
BOGOTA	0	9	3	5	19	12
Total general	6	68	32	39	55	99

Fuente: Elaboración propia – Mayo 2019

Se visitaron 39 predios con un total de 55 unidades sociales censadas, la socialización del proyecto, así como el registro y aplicación del formato de recolección de información se hizo teniendo en cuenta el tamaño de la muestra seleccionada; para el caso de Bogotá hay doce predios requeridos para el proyecto de los cuales se visitaron 5 predios. En el sector de Corferias (punto crítico definido por la Empresa Férrea Regional) hay un solo predio perteneciente a INVÍAS en donde se encontraron 34 mejoratorios de los cuales fueron censados 15 unidades sociales y 4 más se hicieron en la localidad de Fontibón para un total de 19 censos en Bogotá D.C.

4.20.4 Caracterización Social

La población residente a lo largo del corredor del proyecto REGIOTRAM de Occidente y que presentan algún tipo de afectación predial se encuentra concentrada en niveles socioeconómicos 1,2 y 3; en promedio los afectados llevan más de 10 años como residentes del sector y el tipo predominante de vivienda es la casa construida con paredes de ladrillo, techos de teja o lamina y pisos de cemento con acometida de servicios públicos básicos.

Cada unidad habitacional está compuesta por cuatro personas en promedio, con tenencia predominante es de propietarios y con uso residencial, las personas que desarrollan actividades comerciales tienen sus negocios formalmente constituidos y residen en el mismo predio donde desarrollan la actividad comercial.

El nivel educativo prevalente es de bachillerato, la opción preferida para transportarse es la del transporte público o taxi y el tiempo promedio de los desplazamientos más frecuentes es de 20 a 30 minutos; es de resaltar que las personas se sienten seguras y orgullosas de vivir en su sector de residencia y que manifiestan que la principal problemática es el mal estado de las vías y la poca iluminación.

Para la caracterización social se utilizó el instrumento elaborado y desarrollado por la Empresa Férrea Regional para el componente social, dicho instrumento permitió establecer elementos básicos para construir una serie de variables que determinaran indicadores de vulnerabilidades para cada uno de los municipios trabajados y para la ciudad de Bogotá D.C.

Se encontró que las actividades económicas desarrolladas estaban principalmente orientadas a las ventas de bienes y servicios, principalmente tiendas de barrio, papelerías y peluquerías. Los negocios están consolidados con más de 10 años de funcionamiento, cámara de comercio, RUT y documentos que acreditan la formalidad de los negocios.

Las unidades sociales presentan entre 2 y 4 habitaciones para dormir en el hogar, viviendas con piso de cemento o baldosín, paredes en ladrillo y techos en teja plástica y de zinc. Las casas y apartamentos se encuentran en buen estado con una tenencia principalmente por posesión sin títulos.

Otra de las variables tenidas en cuenta para determinar el nivel de vulnerabilidad de los individuos y grupos familiares fue el nivel máximo de estudio terminado por los jefes de los hogares, siendo este un indicador clave sobre la capacidad de los jefes de hogar de desarrollar actividades económicas con herramientas académicas básicas que permitan desarrollar y consolidar sus proyectos de vida en condiciones dignas y con los mínimos vitales socioeconómicos.

El nivel de arraigo y de redes vecinales y familiares de apoyo es otro de los factores a tener en cuenta para determinar los riesgos y vulnerabilidades de las personas, así a mayor tiempo, redes y arraigo en el sector, la calificación de vulnerabilidad es mayor, debido a que a mayor tiempo en un sector y la manifestación del deseo de permanecer en el sector de la vivienda se traduce en que es más complejo iniciar el desarrollo de un nuevo proyecto de vida sin la cercanía de familiares y amigos.

Frente al impacto del proyecto en materia de movilidad las valoraciones en general fueron positivas, considerando que una vez finalice el proyecto las condiciones de movilidad de cada respectivo sector mejoraran, así como el espacio público y la seguridad ciudadana.

En términos generales los entrevistados creen que el proyecto es conveniente, útil y necesario, con grandes impactos positivos para los sectores por donde este se desarrollará, teniendo implicaciones sobre el desarrollo y crecimiento socioeconómico del área de influencia del mismo.

4.20.5 Plan de Reasentamiento

Para el plan de reasentamiento se tiene en cuenta las recomendaciones realizadas por el Banco Mundial (2003) y la Resolución 1023 de 2017 del Ministerio de Transporte, para el caso de Colombia se recomienda minimizar los potenciales daños para las familias objeto del reasentamiento, para esto es necesario tener en cuenta las características y particularidades de cada familia mediante un estudio y entrevistas a profundidad tipo censo.

4.20.6 Plan de Gestión

El Plan de Gestión Social, con el fin de minimizar los impactos del proyecto en la población afectada por el desarrollo del proyecto debe concentrarse en desarrollar un programa de información, comunicación y acompañamiento social tendiente a socializar y divulgar el proyecto de forma adecuada con la comunidad del área de influencia del mismo y que será objeto de reasentamiento.

Es importante indicar que la EFR será el responsable de la adquisición predial, actividad la cual se desarrollará en la etapa de preconstrucción.