



**ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.**

**Instituto
DESARROLLO URBANO**

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

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1860 DE 2021

**INFORME 4: PROFUNDIZACIÓN SOBRE ALTERNATIVA SELECCIONADA
PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA**

VERSION 4

BOGOTÁ, 2023 – OCTUBRE 19

CONTROL DE VERSIONES

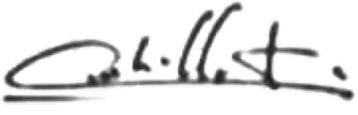
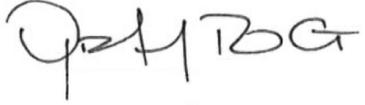
Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 0	27/03/2023	Emisión Inicial	45
Versión 1	12/04/2023	Ajustes por observaciones de interventoría	48
Versión 2	04/07/2023	Ajustes por observaciones IDU	49
Versión 3	18/08/2023	Ajustes por observaciones EMB e interventoría	50
Versión 4	19/10/2023	Ajuste por observaciones IDU	52



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

EMPRESA CONTRATISTA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
		
		
Ing. Martín Amortegui Garzón Ingeniero Costos y Presupuestos	 Ing. Carlos Urdaneta Coordinador de Consultoría	Ing. Oscar Rico Director de Consultoría
Maria del Pilar Ortiz Ingeniero Especificaciones Técnicas-Programación		

MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

EMPRESA INTERVENTORA

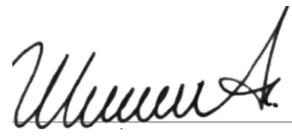
REVISADO POR:	AVALADO POR:	APROBADO POR:
		
William Álzate Hernández Ingeniero Costos y Presupuestos Ingeniero Especificaciones Técnicas-Programación	Ing. Diotima Preciado Coordinador de Interventoría	Ing. Abraham Palacio Director de Interventoría

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVOS	7
1.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	8
3. FUENTES DE INFORMACIÓN	15
4. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA CAPEX	15
4.1. COSTOS SOCIAMBIENTALES	16
4.2. GESTION PREDIAL.....	17
4.3. PREDISEÑOS DE LA INFRAESTRUCTURA.....	17
4.3.1. Interferencias con redes existentes.....	17
4.3.2. Sistemas de drenaje.....	22
4.3.3. Túnel.....	25
4.3.4. Construcción vía férrea	26
4.4. PREDISEÑOS DE LA SUPERESTRUCTURA	28
4.4.1. Estaciones y sistemas asociados.....	28
4.4.2. Sistemas Complementarios Túnel.....	29
4.5. PREDISEÑO INSTALACIONES FERROVIARIAS	29
4.6. PROPUESTA DE TIPOLOGÍA DE MATERIAL RODANTE	31
4.7. SISTEMAS FERROVIARIOS	31
4.7.1. Sistema de Señalización	34
4.7.2. Sistema de Comunicaciones.....	34
4.7.3. Sistemas para control de acceso	35
4.7.4. Sistema de alimentación eléctrica.....	36
4.7.5. Sistema de control de operaciones	36
4.7.6. Dimensionamiento material rodante.....	38
4.8. COSTOS ADICIONALES	39
5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTOS – OPEX	39

5.1. GENERALIDADES.....	40
5.1.1. Costos por Consumo de Energía	41
5.1.2. Personal de Operaciones.....	42
5.1.3. Personal de Mantenimiento.....	45
5.1.4. Personal de Dirección y Administrativo	46
5.1.5. Costos de Mantenimiento.....	47
6. RIESGOS ASOCIADOS AL COMPONENTE	51
7. CRONOGRAMA ESTIMADO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	51
8. CONCLUSIONES	51

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Costos de redes hidrosanitarias y costos de drenaje.....	19
Tabla 2 Costos de energía por km de recorrido por tren	42
Tabla 3 Remuneración Estimada Anual del Personal de Operaciones	44
Tabla 4 Remuneración Estimada Anual para el Personal de Mantenimiento	45
Tabla 5 Remuneración Estimada Anual de Personal de Dirección.....	46
Tabla 6 Remuneración Estimada Anual de Personal Administrativo	47
Tabla 7 Tiempos y porcentajes para la Reversión.....	50

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización alternativa seleccionada. Fuente Elaboración propia.	9
Ilustración 2. Perfil alternativa subterránea.....	9
Ilustración 3. Zona de empalme con el Patio Taller en Soacha.	10
Ilustración 4 Volumetría general de la estación tipo 1. Elaboración propia.	11
Ilustración 5 Plantas generales de la estación tipo 1. Elaboración propia.....	12
Ilustración 6 Cortes estación tipo 2. Elaboración propia	12
Ilustración 7 Plantas generales de la estación tipo 2. Elaboración propia.....	13
Ilustración 8 Vía en Placa con Bloques embebidos.....	27
Ilustración 9 Organigrama de Personal de Operaciones.....	44
Ilustración 10 Organigrama de Personal de Mantenimiento	45
Ilustración 11 Organigrama de Personal de Dirección	46
Ilustración 12 Organigrama de Personal Administrativo	47

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sección tipo de drenaje subterráneo	22
Figura 2. Sección tipo de drenaje de Trasdos.	23
Figura 3. Detalle tipo de conexión drenaje de Trasdos y pozo /arqueta.....	24
Figura 4. Vista aérea de posición de patio taller y meandro del río Bogotá	25
Figura 5. Esquema general de las vías férreas del Patio taller.	30
Figura 6. Líneas de parqueo.	30
Figura 7. líneas para inspección, mantenimiento, lavado y soplado.....	30
Figura 8 Datos de entrada	49
Figura 9 Resultados de Costos de Mantenimiento	49
Figura 10 Resultados de Cantidad de Personal (Organigrama).....	50



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

INTRODUCCIÓN

Este documento contiene el desarrollo de la Etapa 4 del contrato para el proyecto que tiene como objeto “ELABORAR LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FERROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ – CUNDINAMARCA”, cumpliendo así con el entregable correspondiente, que, según el documento de Capítulos técnicos, indica: “Estimación de costos de la alternativa seleccionada”

Como referencia básica para el desarrollo del presente informe se toma lo expuesto en los Capítulos técnicos y en la Guía de Maduración de Proyectos del IDU.

Los costos presentados en este documento están actualizados a precios constantes de Diciembre de 2022, decisión acordada con los especialistas de la interventoría, esto considerando que es el último año fiscal con vigencia terminada, acorde con los lineamientos del Ministerio de Hacienda y Crédito Público respecto de la estructuración de proyectos.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

El CONSULTOR se obliga con el IDU a “ELABORAR LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FERROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ-CUNDINAMARCA”, comprometiéndose a realizar por su cuenta y riesgo, todas las actividades necesarias para cumplir con las obligaciones derivadas del Contrato 1860-2021, de acuerdo con las mejores prácticas técnicas y administrativas.

Para el componente referente a este documento, se debe efectuar la estimación de costos de la alternativa seleccionada, esto considerando que la dicha alternativa fue la que resultó del ejercicio de análisis presentado en el documento CAC-SGC-GEN-MMC-01 Matriz Multicriterio Et IV, que tiene una longitud de 23.12 km, con 18 estaciones, y un trazado 100% Subterráneo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimación de costos de inversión de la alternativa seleccionada CAPEX:
 - A partir de los predimensionamientos específicos, determinar el costo del corredor seleccionado utilizando valores de referencia de la entidad o de otra fuente de información, o indicadores o índices, precios de referencia de otros proyectos; en todo caso, se deberá indicar la fuente utilizada.
 - Para estimar los costos de inversión de la alternativa seleccionada, se deberán considerar, entre otros, aspectos como los siguientes:
 - Gestión predial.
 - Prediseños de la infraestructura

- Prediseños de la superestructura
- Prediseño de las instalaciones ferroviarias
- Propuesta de tipología de material rodante
- Propuesta de integración del sistema ferroviario que incluye:
 - Sistema de señalización y control de trenes – CBTC -
 - Communications-Based Train Control
 - Sistema de comunicaciones
 - Sistemas para control de acceso
 - Sistema de protección a pasajeros
 - Sistema de alimentación eléctrica
 - Sistema de control de operaciones
 - Talleres cocheras
 - Dimensionamiento para el material rodante.
- Estimación de los costos de operación y mantenimiento del proyecto: Se deberán estimar los costos de operación de proyecto teniendo en cuenta los costos de operacionales directos, los costos de mantenimiento de instalaciones y de material rodante, costos de mantenimiento de la infraestructura, la superestructura, costos operacionales de la infraestructura, gastos de administración, servicios, depreciación entre otros.
- Elaborar un cronograma estimado de ejecución del proyecto identificando las etapas siguientes como estudios de factibilidad, estudio de ingeniería de detalle etapa de construcción y etapa de operación.

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto por desarrollar se localiza en la región Bogotá – Cundinamarca, con el objetivo de comunicar al centro de la ciudad con el municipio de Soacha. La alternativa seleccionada se trata de una línea de Metro pesado, con una longitud de 23.141 km, y 18 estaciones, que se desarrolla en su totalidad en sistema subterráneo.

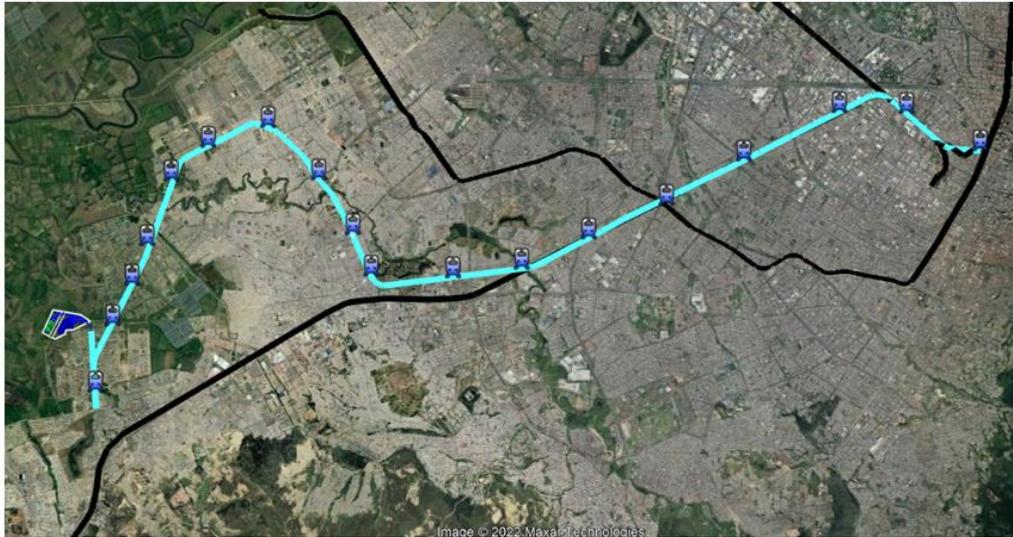
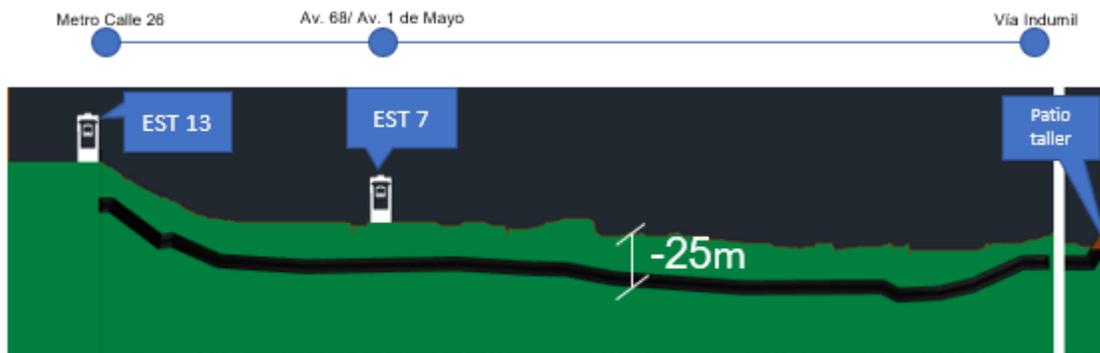


Ilustración 1. Localización alternativa seleccionada. Fuente Elaboración propia.

Ilustración 2. Perfil alternativa subterránea.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

Este corredor empieza a subir en su tramo final para lograr empalmar con el patio taller, tal y como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 3. Zona de empalme con el Patio Taller en Soacha.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

El sistema constará de un tren tipo Metro Pesado, subterráneo con un sistema de construcción tipo TBM, adicionalmente se cuenta con 18 estaciones, que a nivel de Prefactibilidad se han definido dos secciones, la tipo 1, que la tienen 7 estaciones, la tipo 2, que la tienen 10 estaciones y finalmente la estación especial que es la primera y se denomina Estación Santafé.

Estación	Tipo de estación	Área (m2)
Santa Fé	Especial	29,348
La Hoja	Tipo 1	17,240
Gorgonzola	Tipo 2	13,489
La Camelia	Tipo 1	17,240
San Eusebio	Tipo 2	17,446
La Campina	Tipo 1	17,240
Villa del Río	Tipo 2	13,326
Olarte	Tipo 2	13,816
Apogeo	Tipo 1	17,240
Bosa Centro	Tipo 1	17,240
La Paz	Tipo 2	13,339
Las Margaritas	Tipo 2	17,604
Tintal	Tipo 1	17,240

El Edén	Tipo 2	17,240
Frailejones	Tipo 2	20,209
Ciudad Verde	Tipo 2	20,209
Las Huertas	Tipo 2	13,816
Soacha Centro	Tipo 1	17,240

Las estaciones tipo 1, tienen la siguiente configuración:

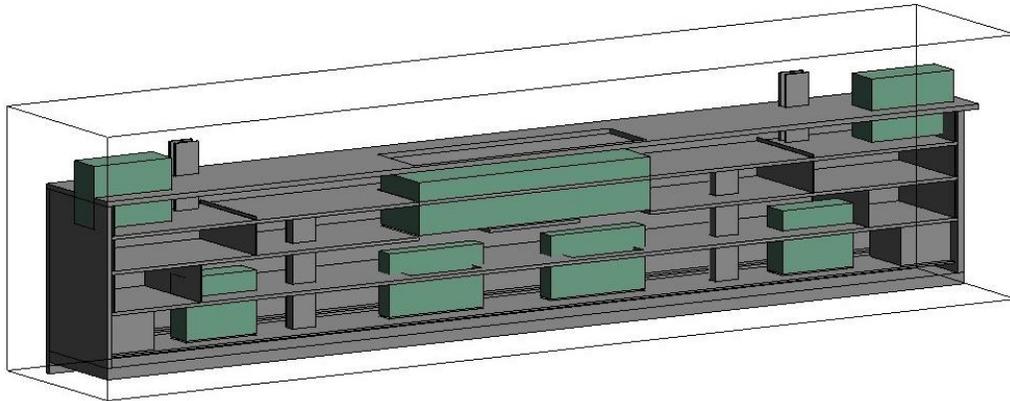


Ilustración 4 Volumetría general de la estación tipo 1. Elaboración propia.

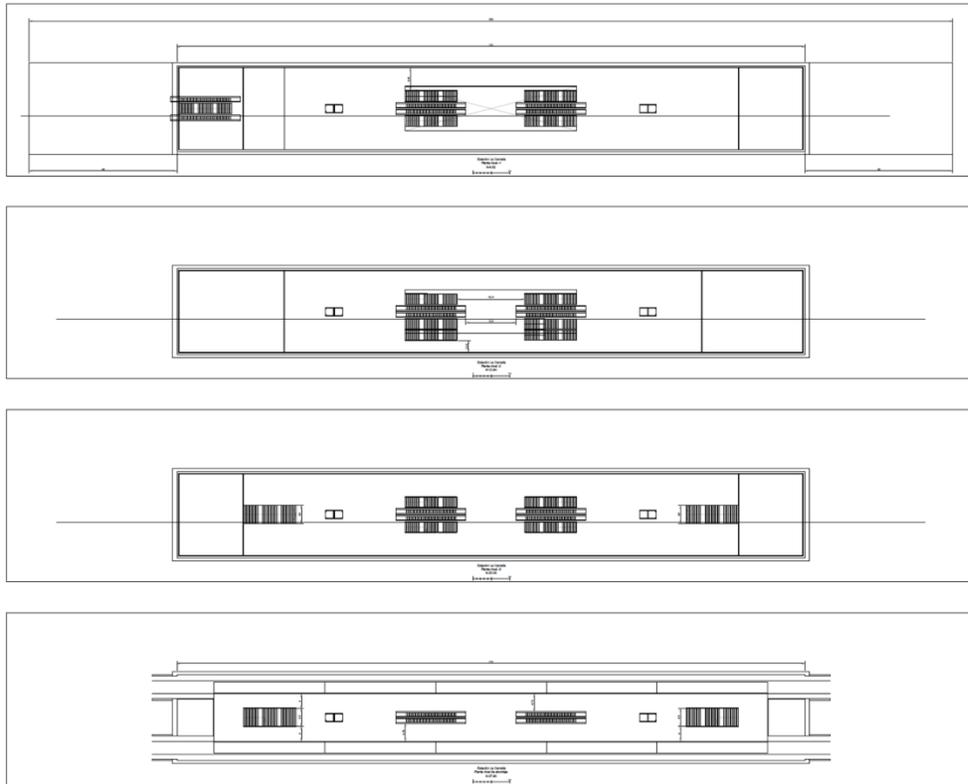


Ilustración 5 Plantas generales de la estación tipo 1. Elaboración propia.

La estación tipo 2, tiene la siguiente configuración:

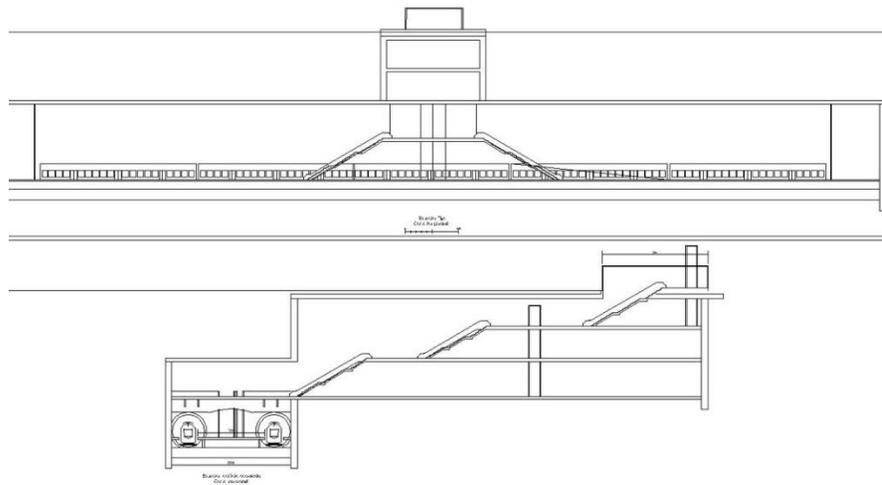


Ilustración 6 Cortes estación tipo 2. Elaboración propia

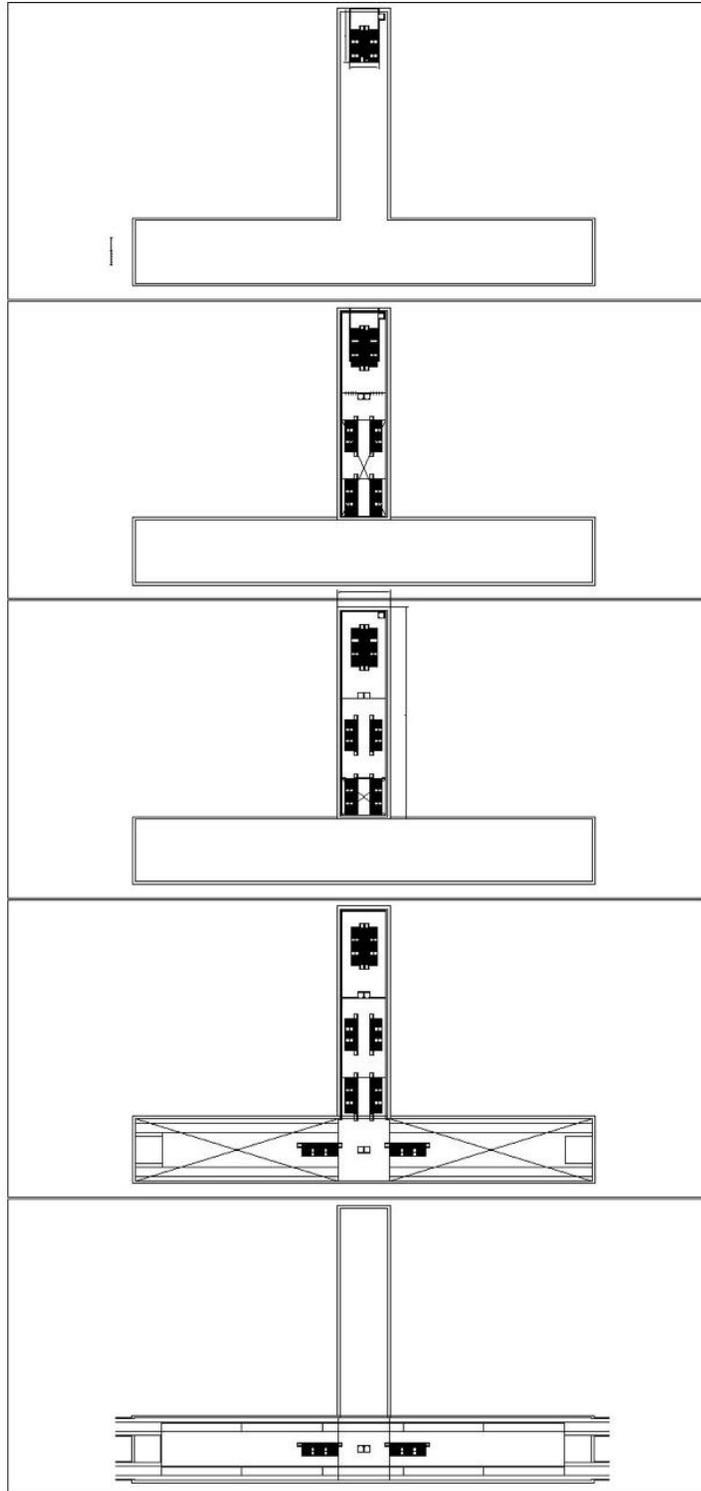
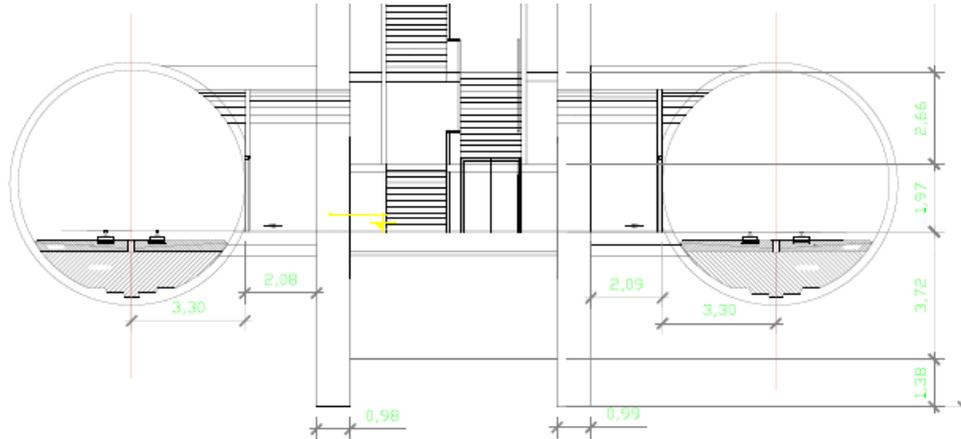
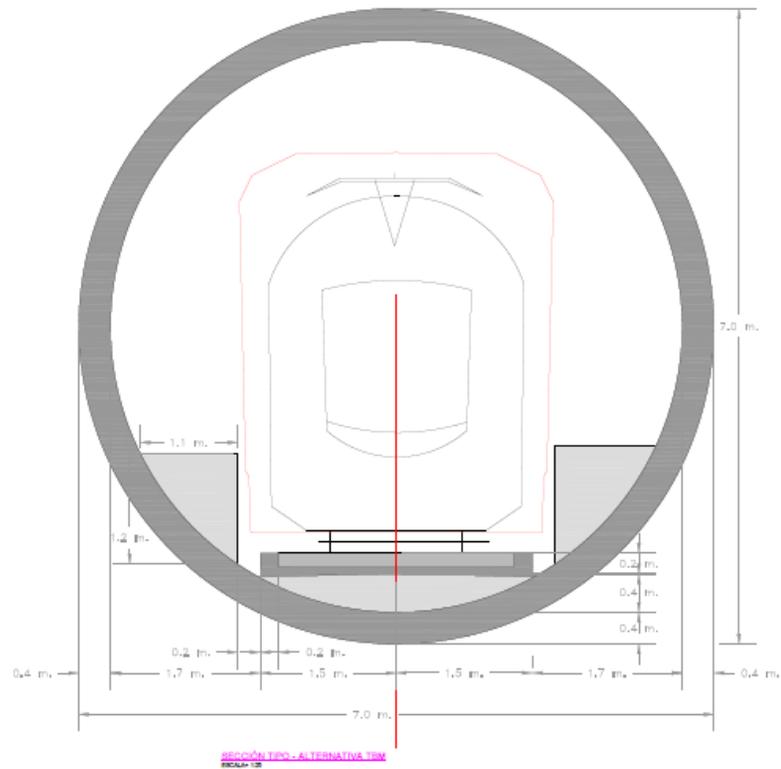


Ilustración 7 Plantas generales de la estación tipo 2. Elaboración propia.

La totalidad del trazado tendrá una vía férrea doble, que se realizará con un túnel bitubo.



La sección típica del túnel consta de un diámetro de 7m, con dovelas, como se muestra en la siguiente imagen:



Respecto al Patio Taller, este se encuentra en un terreno sin desarrollo urbano (de acuerdo con el POT vigente de Soacha) a las afueras del municipio de Soacha, preliminarmente el área del patio taller tiene 28,6 Hectáreas, en donde de acuerdo con el informe de ingeniería ferroviaria se deben disponer de 34 trenes, 29 de ellos ubicados en las 15 pistas de parqueo y los demás ubicados en las diferentes zonas de inspección, mantenimiento, lavado y soplado.

Considerando que una parte importante del presupuesto de inversión y de los costos de operación y mantenimiento, son elementos comprados en dólares, se utilizara como TRM para el cálculo, el valor de 4810.2, correspondiente a la TRM del 31 de diciembre de 2022 de acuerdo a los datos publicados por el Banco de la Republica.

3. FUENTES DE INFORMACIÓN

Los costos directos se establecieron tomando como referencia proyectos similares, principalmente los valores indicados en el documento de Entregable 4 Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte Anexo A Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VD, Evaluación socioeconómica, que hace parte de la Estructuración de la Segunda Línea del Metro de Bogotá.

Para el material rodante, fue calculado un número de trenes usando simulaciones de tráfico preliminares, con el uso de la herramienta Rail Traffic, con lo cual se obtuvo que es necesario para la operación un total de 34 trenes, incluyendo el 15% de seguridad que se calcula, estos costos también fueron determinados según los costos de la segunda línea del metro de Bogotá.

También se usó la base de precios de ADIF (BPA), disponible en línea para la consulta de algunos precios, particularmente los relacionados con la superestructura de vía férrea, y se tuvo en cuenta para algunos casos la base de precios del IDU, según la última versión disponible denominada 1_A-Visor-Precios-Unitarios-de-Referencia-2022-I MO 2023_2_03_2023.

4. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA CAPEX

La estructuración del CAPEX se realizó usando el método de valoración por índices de precios, e incorporando porcentajes de incertidumbre debido al nivel actual de estudio de la consultoría. Considerando los estudios de prefactibilidad de la L2MB, se adoptó para este proyecto valores de AIU diferenciales para la obra civil (25%) y para el Sistema ferroviario (20%).

Adicionalmente, se asignaron unos porcentajes de incertidumbre: 10% para Material Rodante y Sistema Metroferroviario, y 20% para el resto de componentes (obras civiles, predios); estos valores de incertidumbre fueron tomados del documento de Matriz Multicriterio de los Estudios de Prefactibilidad de la Segunda Línea del Metro de Bogotá.

Para el material rodante, fue calculado un número de trenes usando simulaciones de tráfico preliminares, con el uso de la herramienta Rail Traffic, con lo cual se obtuvo el dato de 34 trenes necesarios para el funcionamiento del Corredor Férreo del Sur.

4.1. COSTOS SOCIAMBIENTALES

Los costos socioambientales fueron determinados por el equipo de especialistas ambientales, y son mostrados en la siguiente tabla:

RESUMEN GRANDES PARTIDAS DE PAGO	
Preconstrucción	
Documento de Estudio de Impacto Ambiental	\$ 94,356,557
Tramites Solicitud de Permisos Ambientales	\$ 65,287,131
TOTAL	\$ 159,643,688
Construcción	
Compensación	\$ 103,492,309,526
Plan de Manejo Ambiental	\$ 37,619,540,000
Gestión Social	\$ 5,972,006,495
TOTAL	\$ 147,083,856,021
Operación	
PMA :plan de manejo ambiental	\$ 21,065,508,000
TOTAL	\$ 21,065,508,000
Desmantelamiento	
PMA :plan de manejo ambiental	\$ 2,890,814,400
Cierre ambiental	\$ 57,816,288
TOTAL	\$ 2,948,630,688
SUBTOTAL	\$ 171,257,638,397
PRESUPUESTO ETAPAS CORREDOR DEL SUR	
Pre y construcción	\$ 147,243,499,709
Operación	\$ 21,065,508,000
Desmantelamiento	\$ 2,948,630,688
Total	\$ 171,257,638,397

Estos costos son calculados aplicando los precios del visor IDU 1_A-Visor-Precios-Unitarios-de-Referencia-2022-I MO 2023_2_03_2023, y según cantidades y dedicaciones propuestas por el componente social.

4.2. GESTION PREDIAL

El detalle del cálculo de los costos de gestión predial se puede observar en el producto 2. CAC-SGC-GPR-INF.PAS-1, a manera de resumen se tiene un total de 272 predios, de los cuales 226 son predios privados.

Para el cálculo de los costos de gestión predial, se tuvo en cuenta el valor de la adquisición predial, el costo del daño emergente y finalmente el saneamiento predial, tal y como se muestra en la siguiente tabla, que es tomada del informe ETAPA 4: PROFUNDIZACIÓN SOBRE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA- GESTIÓN PREDIAL:

DESCRIPCIÓN	VALOR PROYECTADO TOTAL
Adquisición predial	\$ 263.377.508.236,37
Indemnización - Daño emergente	\$ 10.802.797.036,00
Saneamiento predial	\$ 13.168.875.411,82
TOTAL	\$ 287.349.180.684,19

4.3. PREDISEÑOS DE LA INFRAESTRUCTURA

4.3.1. Interferencias con redes existentes

En cuanto a la interferencia con redes, se toman los resultados desarrollados por los componentes de redes secas y redes húmedas, y se aplican costos unitarios, haciendo uso de la experiencia de la consultoría en proyectos similares.

Corredor	Redes Alta Tensión	Redes Media Tensión	Redes Baja Tensión	Redes de Gas	Redes de comunicaciones
Costo Instalación por Metro	\$1,212,850	\$194,750	\$172,950	\$350,000	\$235,000
Costo Remoción por metro	\$202,000	\$65,000	\$58,000	\$117,000	\$78,000
Metros de interferencia	\$740	\$2,230	\$2,912	\$7,932	\$2,891
Costo Remoción	\$149,560,800	\$144,924,000	\$168,919,200	\$928,044,000	\$225,482,400
Costo Instalación	\$897,994,140	\$434,214,600	\$503,699,580	\$2,776,200,000	\$679,338,000
Costo Total por red	\$1,047,554,940	\$579,138,600	\$672,618,780	\$3,704,244,000	\$904,820,400
Costo total	\$6,908,376,720				

En el caso de las redes húmedas se realizó una cuantificación considerando los precios del IDU, visor 1_A-Visor-Precios-Unitarios-de-Referencia-2022-I MO 2023_2_03_2023.



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

Tabla 1 Costos de redes hidrosanitarias y costos de drenaje.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO CON A.I.U.	VALOR TOTAL
1.0	Retiro de redes (demolição)				\$ 24,923,340.19
1.1	Redes de Alcantarillado Pluvial	ML	790.84	\$ 5,157.00	\$ 4,078,361.88
1.2	Redes de Alcantarillado Sanitario local	ML	703.65	\$ 5,157.00	\$ 3,628,723.05
	Redes de Alcantarillado Sanitario Troncal	ML	82.2	\$ 5,157.00	\$ 423,905.40
1.3	Redes de Acueducto - Menor	ML	1031.58	\$ 5,157.00	\$ 5,319,858.06
1.4	Redes de Acueducto - Matriz	ML	44.2	\$ 48,934.00	\$ 2,162,882.80
1.5	Pozos de inpección	UN	87	\$ 107,007.00	\$ 9,309,609.00
2.0	Relocalización de Redes				\$ 1,347,099,055.83
2.1	Preliminares	GL	1	\$ 255,000,000.00	\$ 255,000,000.00
2.2	Redes de Alcantarillado Pluvial local	ML	705.6	\$ 315,611.00	\$ 222,695,121.60
2.3	Redes de Alcantarillado Pluvial troncal	ML	499.4	\$ 680,482.00	\$ 339,832,710.80
2.4	Redes de Alcantarillado Sanitario local	ML	735	\$ 102,194.00	\$ 75,112,590.00
2.5	Redes de Alcantarillado Sanitario troncal	ML	121.4	\$ 239,586.67	\$ 29,085,821.33
2.6	Redes de Acueducto - Menor	ML	406.4	\$ 263,566.00	\$ 107,113,222.40
2.7	Redes de Acueducto - Matriz	ML	44	\$ 1,769,129.00	\$ 78,195,501.80
2.8	Pozos de inpección	UN	38	\$ 1,097,096.00	\$ 41,689,648.00
2.9	Entibados para redes	M2	4522	\$ 38,080.00	\$ 172,182,528.00
2.10	Geotextiles	M2	3092	\$ 4,403.00	\$ 13,614,516.30
2.11	Rellenos para redes	M3	3203	\$ 3,927.00	\$ 12,577,395.60
3.0	Drenaje de Tunel				\$ 51,152,786,016.48
3.1	Preliminares	GL	1	\$ 1,565,000,000.00	\$ 1,565,000,000.00

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO CON A.I.U.	VALOR TOTAL
3.2	Estaciones de Bombeo (una cada 1.5 km) Sistema de elevación de aguas limpias o ligeramente cargadas, con tanque de polietileno de 250 l, bomba sumergible, potencia nominal del motor de 0,38 kW, alimentación monofásica (230V/50Hz), altura de elevación entre 0 y 7 m, caudal máximo 10 m³/h, con una entrada de 110 mm de diámetro, una salida de impulsión de 1 1/2", tapa de registro y regulación automática por nivel. Pozo de drenaje (5x5x2.5)	UN	5	\$ 87,773,500.00	\$ 468,339,890.78
3.3	Sumideros (conectados con los pozos de inpección una cada 50 m)SL-150, H=1.25M (FUNDIDO EN SITIO, CONCRETO HECHO EN OBRA. INCL. SUMIN, FORM, REF. Y CONST. INCL. TAPA)	UN	1921	\$ 2,428,012.00	\$ 4,663,919,690.56
3.4	Colector de drenaje principal 800 mm	ML	48022	\$ 680,482.00	\$ 32,678,106,604.00
3.5	Pozos de inpección y/o arquetas	UN	1921	\$ 1,097,096.00	\$ 2,107,389,764.48
3.6	Tubo de drenaje (200 m) descarga - anden lateral	ML	48022	\$ 97,816.67	\$ 4,697,351,966.67
3.7	Tubería Dren de Trasdos 70 mm	ML	48022	\$ 101,790.00	\$ 4,888,159,380.00
3.8	Conexión tubo de drenaje PVC 70 mm Transversal cada 10 m concidente con junta de hormigón	UN	4802	\$ 17,600.00	\$ 84,518,720.00
4.0	Drenaje de Patio Taller				\$ 2,953,965,535.29
4.1	Preliminares	GL	1	\$ 35,500,000.00	\$ 35,500,000.00
4.2	Excavación zaja perimetral / Dique de protección	M3	15677	\$ 91,634.00	\$ 1,436,527,891.20
4.3	Canal de concreto trapezoidal (B=1.5, H=1.5, Talud 1:2) CONCRETO GRAVA COMÚN 2000 PSI 14 MPa (140 Kg/m²)	M3	2550	\$ 431,256.00	\$ 1,099,806,301.44
4.4	Tubería de drenaje sanitario	ML	2096	\$ 74,756.00	\$ 156,688,576.00
4.5	Tubería de drenaje Pluvial	ML	1782	\$ 105,011.00	\$ 187,087,597.60

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO CON A.I.U.	VALOR TOTAL
4.6	Pozos de inspección sanitarios	UN	26	\$ 920,282.00	\$ 24,111,388.40
4.7	Pozos de inspección Pluvial	UN	22	\$ 639,595.00	\$ 14,243,780.65
5.0	Inspección de Redes				\$ 175,951,258.00
5.1	Inspección de Pozos alcantarrillado	UN	602	\$ 102,272.00	\$ 61,567,744.00
5.2	Georradar de redes EQUIPADO MÍNIMO CON DOS ANTENAS DE OPERACIÓN, CON FRECUENCIAS: LA PRIMERA COMO MÍNIMO 1000 MHZ Y LA SEGUNDA ENTRE 300 Y 600. Norma técnica: ASTM D4748.	Km-car	451	\$ 197,540.00	\$ 89,011,524.00
5.3	INSPECCIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO CON SISTEMAS CCTV PARA DIÁMETROS ENTRE 6" A 36"	ML	2369	\$ 10,710.00	\$ 25,371,990.00
					\$ 55,654,725,205.80

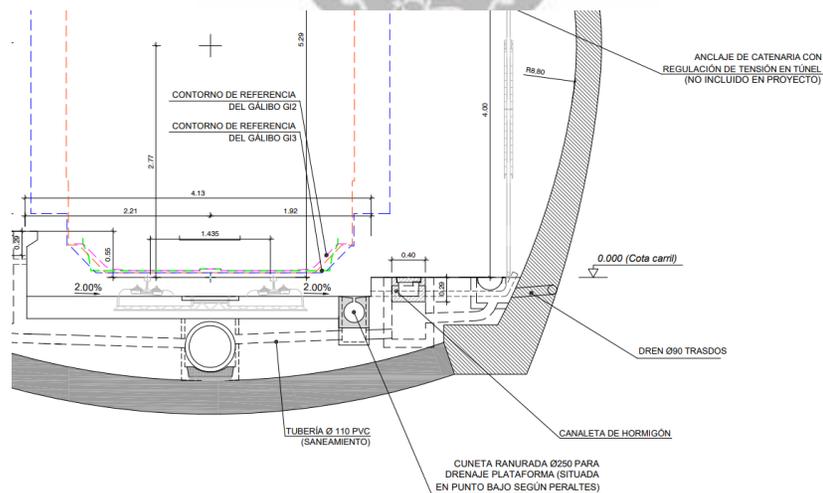
Nota: Los valores asociados a los precios unitarios de las cantidades planteadas, están referidos a la base de datos denominada **Precios Unitarios de Referencia 2023-I-Fase 1**, del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), destacando que los precios utilizados en la fase de prefactibilidad son de referencia y los mismos deben actualizarse en las fases de Factibilidad y Diseño detallado. Enlace: <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/economico/portafolio>

4.3.2. Sistemas de drenaje

El presente capítulo muestra la conceptualización del drenaje propuesto para los túneles, resaltando que en la fase de diseños detallados se deben hacer los estudios y ensayo de campo para elaborar un modelo numérico hidrogeológico del tramo del corredor Ferreo propuesto.

Dentro del informe CAC-SGC-DGF-M-04_DISEÑO GEOMETRICO FERREO, se presentó la sección tipo del túnel que se proyecta a nivel de prefactibilidad. Es decir que en función de esta tipología el drenaje del túnel estará gobernado por un colector principal a lo largo de todo el trazado férreo. Este colector estará conectado por pozos y/o arquetas de inspección que recolectan las aguas de la plataforma y los drenes de *trasdos* de la bóveda del túnel. En la siguiente imagen se logró apreciar la tipología de drenaje propuesta para el túnel, destacando que el colector es fundamental para la vida útil y el mantenimiento del túnel. Dada la disposición de este, y debido a que sobre él se ejecuta el relleno de la contrabóveda y la supraestructura de la vía ferra su correcta definición es fundamental para garantizar la durabilidad y funcionalidad de la obra ejecutada.

Figura 1. Sección tipo de drenaje subterráneo



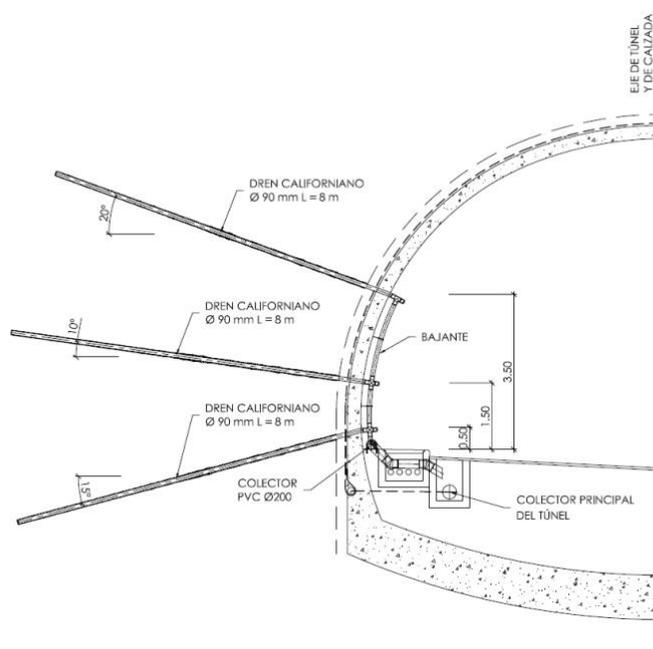
Por otro lado, dentro del túnel se proyecta cada 50 metros arquetas y/o pozos de registro, en las cuales se conectarán las tuberías provenientes de los hastiales del túnel y que permiten el drenaje de la impermeabilización instalada entre el sostenimiento y el revestimiento de la contrabóveda.

Dentro del túnel se recomienda que en los hastiales del revestimiento se deberán instalar tubos pasantes al revestimiento que drenara el agua acumulada y/o proveniente de la impermeabilización instalada. Acá se resalta que en el diseño detallado del túnel se deberá

dimensionar de tal manera que la bóveda tenga un sobrecancho suficiente en la excavación para su instalación de la tubería de drenaje.

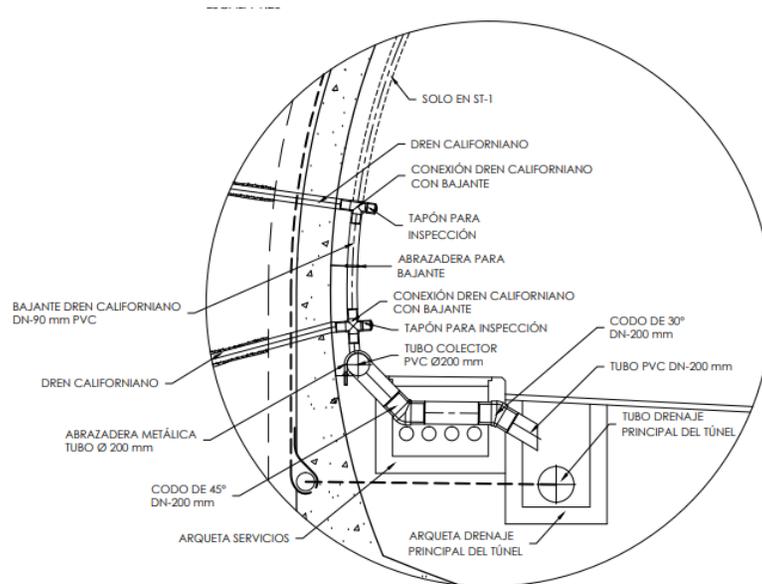
Por otro lado, para evacuar las aguas de escorrentía y subsuperficiales se proyectan cinco estaciones de bombeo; una cada 4.5 kilómetros para drenar las aguas del interior del túnel, resaltando que los suelos de confinamiento de la contrabóveda serán arcillas con altos contenidos de agua, por ello los depósitos de los tanques o pozos de achique deben tener una capacidad de mínimo 50 m³, esto en función de la norma NAP – 2- 3-1, Túneles de ADIF.

Figura 2. Sección tipo de drenaje de Trasdos.



Fuente: Drenaje túnel fresno, Asturias. 2015

Figura 3. Detalle tipo de conexión drenaje de Trasdos y pozo /arqueta

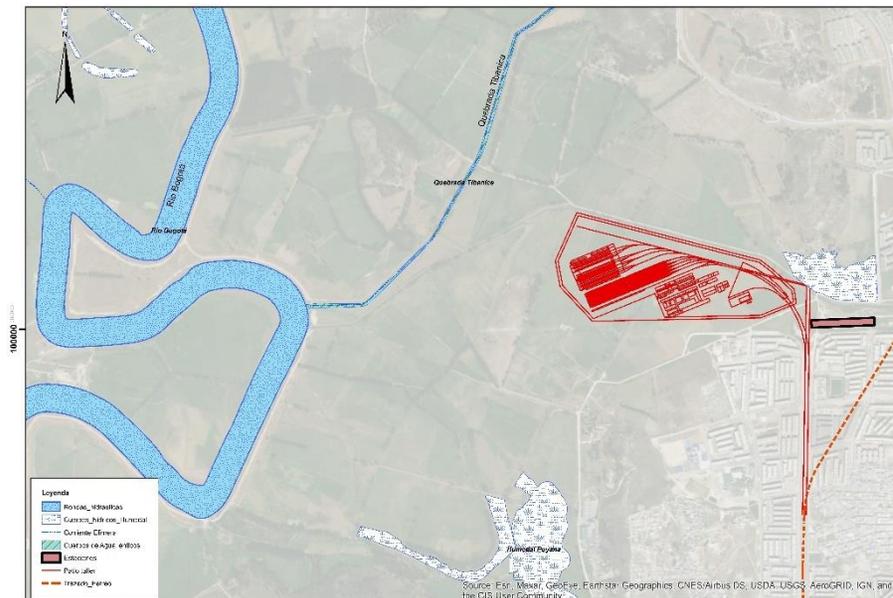


Fuente: Drenaje túnel fresno, Asturias. 2015

Se recomienda que para la fase de factibilidad y diseño detallado se utilicen como mínimo los parámetros de velocidad de flujo mínima de 0.5 m/s y un caudal mínimo de 100 l/s para el dimensionamiento del colector principal, esto en función de la norma NAP – 2- 3-1, Túneles de ADIF (Administrador de infraestructuras ferroviarias española).

El drenaje del patio taller a nivel de prefactibilidad estuvo enfocado en proyectar una protección con un canal perimetral de 2760 m, en sección trapezoidal con una base de 1.5 metros altura de 1.5 m, talud 1:2 y pendiente recomendada de 0.02 m/m. Este canal tiene una capacidad de evacuar 31.5 m³/s. La proyección de este canal de guarda está fundamentado por la cercanía a los meandros del río Bogotá que tiene una distancia a la plataforma del patio de taller de 1 km y a la quebrada tibanica de 475 m, las cuales tienen antecedentes de desborde. En la siguiente figura se puede ver las separaciones de los cuerpos de agua y el perímetro del patio taller proyectado.

Figura 4. Vista aérea de posición de patio taller y meandro del río Bogotá



De manera adicional se proyecta un circuito de drenaje para la recolección de aguas residuales y pluviales de 8" y 10" pulgadas de diámetro respectivamente. Estas redes estarán conectadas a los colectores principales que se ubican en el municipio de Soacha.

Los costos del sistema de drenaje están incluidos en la Tabla 1 Costos de redes hidrosanitarias y costos de drenaje.

4.3.3. Túnel

Para la alternativa de ejecución con TBMs la valoración económica, y por tanto la estimación temporal podría hacerse valorando distintos escenarios de utilización de número de TBMs. En el presente documento se evaluará sólo la solución excavada con 2 TBMs, ejecutando la totalidad del trazado de un modo continuo comenzando en uno de los extremos del tramo y retirando las TBMs al final del mismo.

El coste de la alternativa se resume en la siguiente tabla. Por un lado se señala en la parte inicial el coste previsto de equipos, y a continuación los totales agrupando en la primera de las filas el coste de los equipos de TBM y los accesorios imprescindibles.

- 2 TBM, es decir un único frente de excavación de túnel doble excavado.
- Rendimientos aproximados medios de 375-400 metros por mes de excavación por cada equipo.

- El tiempo para la ejecución de galerías de conexión, pozos de ventilación y salidas de emergencia están incluidos en el total de la excavación ya que pueden hacerse de un modo simultáneo a la excavación principal.

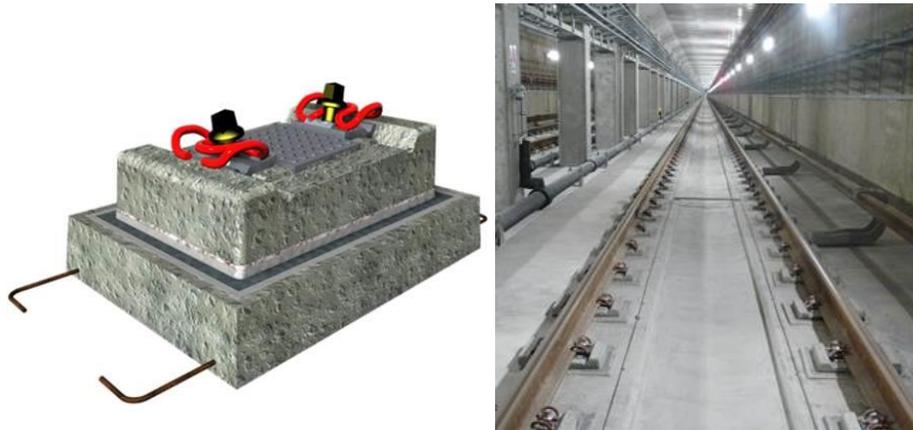
1	TOTAL EQUIPO TUNEL TBM			USD 19,980,500	\$96,110,201,100
	TUNELADORA (Mixed/Rock, Brand New)	Cantidad	USD/Unidad	TOTAL 2 TBM	TOTAL 2 TBM (COP)
	EPB y Back Up	2	USD 6,950,000	USD 13,900,000	\$66,861,780,000
	Sistema de guiado	2	USD 162,750	USD 325,500	\$1,565,720,100
	Sistema de inyección de gap	2	USD 245,000	USD 490,000	\$2,356,998,000
	Sistema de espumas	2	USD 165,000	USD 330,000	\$1,587,366,000
	Sistema de aditivos	2	USD 117,500	USD 235,000	\$1,130,397,000
	Transporte CIF	2	USD 300,000	USD 600,000	\$2,886,120,000
	Equipos extracción del terreno	1	USD 4,100,000	USD 4,100,000	\$19,721,820,000
2	TOTAL EQUIPAMIENTO DE OBRA			USD 1,580,000	\$7,600,116,000
3	TOTAL MONTAJE DESMONTAJE			USD 2,536,400	\$12,200,591,280
4	TOTAL PERSONAL			USD 41,080,600	\$197,605,902,120
5	TOTAL MATERIALES			USD 55,650,000	\$267,687,630,000
6	TOTAL PRODUCCIÓN DE DOVELAS			USD 160,513,074	\$772,099,988,555
7	TOTAL TRASLADO Y DISPOSICIÓN MATERIAL	1503974.65	\$ 47,469.75	USD 14,842,064	\$71,393,297,532
	TOTAL TÚNEL (SIN IVA)			USD 296,182,638	\$1,424,697,726,587
	COSTOS ARANCEL ADUANERO, SEGURO Y FLETES			USD 57,943	\$278,719,583
	TOTAL TÚNEL (IVA INCLUIDO)			USD 352,526,292	\$1,695,721,970,943

Los costos unitarios indicados son tomados de proyectos similares y de acuerdo a la experiencia de la Consultoría, así mismo se aclara que los precios son dados según valores de diciembre de 2022.

4.3.4. Construcción vía férrea

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

Ilustración 8 Vía en Placa con Bloques embebidos



Fuente: Web Edilon)(Sedra

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

Bloque de concreto, formado por los siguientes componentes:

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

En el caso del bloque rígido, T, el bloque va directamente embebido en el concreto de la losa.

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

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

Los costos de la vía, se calcularon según la Base de Precios de ADIF, disponible en <http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf>, usando la siguiente especificación y considerando la longitud de la vía.

VHA070\$ - MONTAJE DE VÍA EN PLACA TIPO CARRIL EMBEBIDO

TRABAJO	BANDA DE MANTENIMIENTO	CONDICIONES DE EJECUCIÓN
<input type="radio"/> Diurno <input type="radio"/> Nocturno <input checked="" type="radio"/> Diurno en túnel <input type="radio"/> Nocturno en túnel	<input type="radio"/> $i \geq 5$ horas <input type="radio"/> $3 \leq i < 5$ horas <input type="radio"/> $i < 3$ horas <input checked="" type="radio"/> No necesita intervalo	<input checked="" type="radio"/> Volumen relevante <input type="radio"/> Volumen escaso

VHA070cda - Montaje de vía en placa tipo carril embebido. (DE/NNI/R).

797,67 € / m

Suministro y montaje de vía en placa tipo carril embebido, incluyendo encofrado, elementos de posicionamiento de carril, imprimación, material elastomérico, bloque de relleno, nivelación y alineación de los carriles. Incluyendo operaciones para la ejecución de ríngolas así como los encofrados para la canaleta central.

Trabajo: Diurno en túnel.

Banda de mantenimiento: No necesita intervalo.

Condiciones de ejecución: Volumen relevante.

Descompuesto					
Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
MOC0000502	h	PEÓN. TRABAJO EXCEPCIONAL	1,6800	23,90 €	40,15 €
MOC0000202	h	OFICIAL 1A. TRABAJO EXCEPCIONAL	1,0510	25,81 €	27,13 €
MOC0000102	h	CAPATAZ. TRABAJO EXCEPCIONAL	0,1680	26,38 €	4,43 €
MOC0000402	h	PEÓN ESPECIALISTA. TRABAJO EXCEPCIONAL	1,6800	24,20 €	40,66 €
MQ16030220	h	EQUIPO DE MEZCLA PARA MATERIAL ELASTOMÉRICO	0,1110	66,27 €	7,36 €
MQ14000000	h	GRÚA AUTOPROPULSADA TODOTERRENO PARA CARGA MÁXIMA DE 20 T	0,0280	120,19 €	3,37 €
MQ04020010	h	RETROCARGADORA SOBRE RUEDAS DE 75 KW DE POTENCIA	0,0280	65,17 €	1,82 €
MQ08110010	h	VIBRADOR DE HORMIGÓN DE 66 MM DE DIÁMETRO	0,9400	0,59 €	0,55 €
MQ08110025	h	CONVERTIDOR Y GRUPO ELECTRÓGENO DE ALTA FRECUENCIA PARA VIBRADORES DE HORMIGÓN DE 4 KW DE POTENCIA	0,9400	2,32 €	2,18 €
MN17012020	mm	SUELA BAJO PATÍN PARA VÍA DE CARRIL EMBEBIDO	2,0000	13,53 €	27,06 €
MN17012021	m	BLOQUE DE RELLENO POLIURETANO DE DENSIDAD 80 KG/M3 (INTERIOR)	2,0000	8,21 €	16,42 €
MN17012022	m	BLOQUE DE RELLENO POLIURETANO DE DENSIDAD 80 KG/M3 (EXTERIOR)	2,0000	10,01 €	20,02 €
MN17012023	ud	KG DE RESINA PARA CARRIL EMBEBIDO DEX G-20	0,3000	11,56 €	3,47 €
MN01142000	kg	PRODUCTO DE IMPRIMACIÓN PARA ADHERENCIA DE ELASTÓMERO AL CARRIL	0,5000	22,54 €	11,27 €
MN01092030	kg	ADHESIVO PARA LA FIJACIÓN DE LAS SUELAS BAJO PATÍN Y LOS BLOQUES DE ELASTÓMERO	0,3000	0,35 €	0,11 €
MN01142001	kg	PRODUCTO DE IMPRIMACIÓN DE POLIURETANO PARA CAPA DE PRETRATAMIENTO	0,5000	22,54 €	11,27 €
MN07022000	kg	MEZCLA BITUMINOSA PARA SUJECCIÓN DE CARRIL	23,9900	11,65 €	279,48 €
MN17012030	kg	PÓRTICO DE NIVELACIÓN	1,0000	49,88 €	49,88 €
MN17012040	kg	PÓRTICO DE ENCOFRADO	1,0000	16,16 €	16,16 €
AU10200003	m ²	HORMIGÓN PARA ARMAR O PRETENSAR HA/HP-35, DE CUALQUIER CONSISTENCIA Y TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO 20 MM	0,7700	101,78 €	78,37 €
MN01110003	kg	ACERO CORRUGADO B 500 EN BARRAS	22,0000	1,22 €	26,84 €
MN01122001	m ²	ENCOFRADO A PIE DE OBRA	4,0000	21,13 €	84,52 €
%CIND	%	Costes indirectos	0,0600	752,51 €	45,15 €

También se incluyeron los costos de desvío, considerando que en total se tienen 44 desvíos.

4.4. PREDISEÑOS DE LA SUPERESTRUCTURA

4.4.1. Estaciones y sistemas asociados

El costo de las estaciones fue calculado en base al área total de cada una de estas, el costo unitario por m² fue determinado usando el costo total de las estaciones hallado en los estudios de Factibilidad de la Segunda Línea de Metro de Bogotá, y el área total de las estaciones en dichos estudios, adicionalmente se tuvo en cuenta la diferencia de inflación entre 2021 a diciembre de 2022.

Se aplicó esta metodología considerando que a nivel de Prefactibilidad, no se tiene un detalle específico de cada uno de los elementos que conforman las estaciones, incluyendo no solamente la estructura sino el equipamiento general. Se considera que, a este nivel conceptual, tener una definición de área es suficiente para poder costear las mismas, el precio por m² es un valor global que incluye todo el tema de redes menores y equipamiento general de las estaciones.

4.4.2. Sistemas Complementarios Túnel

Los costos complementarios de túnel se calcularon usando como referencia los costos incluidos para la SLMB, en sus estudios de Factibilidad, incluyendo los Sistema de Detección y extinción de incendio, Sistema de Ventilación y sistemas eléctricos, para determinarlo se uso como relación la longitud de los dos proyectos, teniendo en cuenta que existe una importante similitud entre los mismos. Los valores de los tres sistemas estaban en precios 2021, razón por la cual se realiza una actualización a diciembre de 2022, aplicando una inflación de 13.12% como se muestra a continuación:

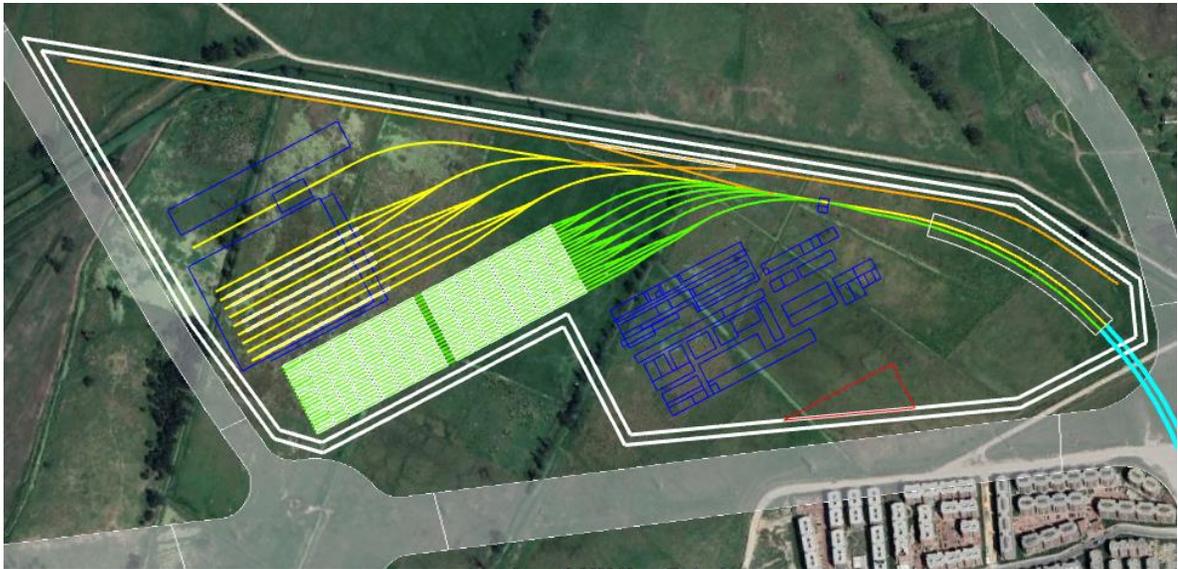
Longitud SLMB	15.8	km		
Longitud CFS	23.141	km		
Inflación 2021-Diciembre 2022	13.12%			
	Valor L2MB 2021	Costo por km (MCOP)	Costo por km 2022 (MCOP)	Costo CFS
Sistema de Detección y extinción de incendio	\$150,891.00	\$9,550.06	\$10,803.03	\$249,992.95
Sistema de Ventilación	\$278,484.00	\$17,625.57	\$19,938.04	\$461,386.28
Sistemas eléctricos	\$271,911.00	\$17,209.56	\$19,467.45	\$450,496.28
	TOTAL (M COP)			\$1,161,875.52
	TOTAL (COP)			\$1,161,875,518,327.29

4.5. PREDISEÑO INSTALACIONES FERROVIARIAS

Considerando lo indicado en los capítulos técnicos, se incluye en este capítulo lo referido a Patios y Talleres.

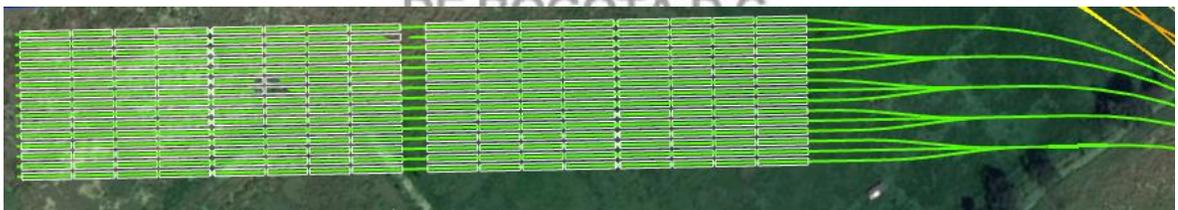
El Patio Taller contará con un área de 28,6 Hectáreas, en donde de acuerdo con el informe de ingeniería ferroviaria se deben disponer de 34 trenes, 29 de ellos ubicados en las 15 pistas de parqueo y los demás ubicados en las diferentes zonas de inspección, mantenimiento, lavado y soplado.

Figura 5. Esquema general de las vías férreas del Patio taller.



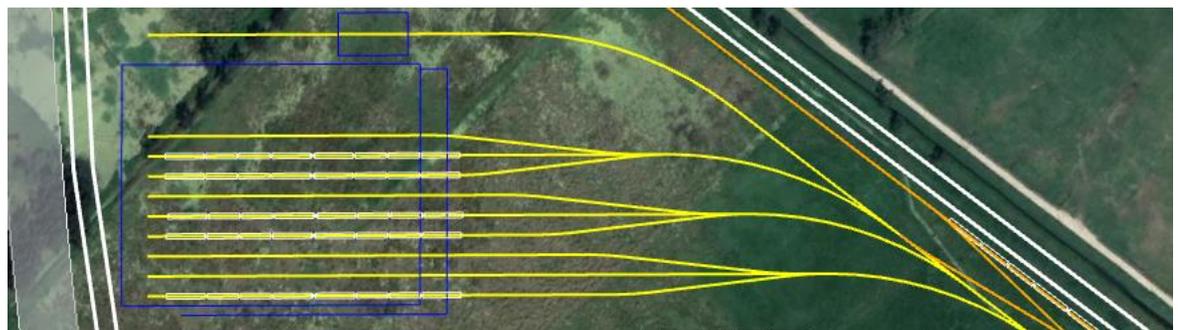
Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023.

Figura 6. Líneas de parqueo.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023.

Figura 7. líneas para inspección, mantenimiento, lavado y soplado.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Los costos de patios y talleres fueron determinados usando los costos de la Factibilidad de la SLMB, realizados en 2021, tomando la relación de la cantidad de trenes, adicionalmente se incluyeron los costos de la preparación del terreno, usando los precios de IDU y las cantidades determinadas con el apoyo del equipo de geotecnia.

4.6. PROPUESTA DE TIPOLOGÍA DE MATERIAL RODANTE

La tipología del material rodante seleccionada es adecuada en función de las condiciones de operación, demanda prevista y compatibilidad con otros sistemas ferroviarios de la región, en especial con la Línea 2 del Metro de Bogotá, haciendo coincidir características importantes, tales como, galibo del tren, tensión de alimentación, señalización, tipo de vía, entre otros, lo que contribuye a la optimización del funcionamiento y la integración del proyecto en el entorno ferroviario planificado y en proceso de implementación en la capital.

Cantidad de vagones: 7

Longitud total del tren: 150 metros

Longitud por vagón: 150 metros / 7 vagones \approx 21,4 metros por vagón

Ancho del tren: 2,90 metros

Altura desde el riel hasta el techo del tren: 3,900 mm (3,9 metros)

Trocha estándar: 1.435 mm (1,435 metros)

Galibo compatible: El galibo estático, el dinámico y el libre de obstáculos (GLO) del tren deben estar compatibles con la Línea 2 del Metro de Bogotá.

Este galibo debe respetar el galibo del pasillo lateral (sarcófago):

- 610 mm = ancho mínimo del área de camino;
- 760 mm = ancho mínimo a 1 420 mm encima del área de camino;
- 900 mm = ancho mínimo a 2 050 mm encima del área de camino.

Así mismo en cuanto a la capacidad se tienen los siguientes datos:

- Capacidad máxima de pasajeros: 1.800
- Capacidad por vagón: 1.800 pasajeros / 7 vagones \approx 257 pasajeros por vagón (redondeado al entero más cercano)

4.7. SISTEMAS FERROVIARIOS

La determinación del costo de los sistemas ferroviarios fue obtenida considerando los valores de la Factibilidad de la SLMB (2021), donde se hicieron relaciones por longitud de la línea, número de trenes y número de puertas, según aplicara.



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD

Instituto de Desarrollo Urbano

 <p>Arduy CONSORCIO ARDANUY COLOMBIA</p>	<p>ELABORAR LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD DEL CORREDOR FÉRREO DEL SUR EN LA MODALIDAD FÉRROVIARIA Y SU ARTICULACIÓN CON OTROS PROYECTOS DE TRANSPORTE DE LA REGIÓN BOGOTÁ-CUNDINAMARCA.</p>	 <p>ALCALDÍA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>
--	---	---

Adicionalmente, se tuvo en cuenta la inflación y la tasa de cambio, esto considerando que varios de estos sistemas su precio de compra es en moneda extranjera, y se aplica la inflación para presentar los valores en precios constantes de diciembre de 2022.

CAPEX SISTEMAS FERROVIARIOS				
SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE ITS				
Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad (km)	Total
Señalización y control vía doble	km	\$23,349,901,063.29	23.14	\$540,340,060,505.62
Subtotal				\$540,340,060,505.62
COMUNICACIONES				
Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad (km)	Total
Sistema de comunicaciones	km	\$16,526,617,215.19	23.14	\$382,442,448,976.71
Subtotal				\$382,442,448,976.71
PUERTAS DE ANDEN				
Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad (ud)	Total
Sistema de comunicaciones	Ud	\$200,247,448	1632.00	\$326,803,835,136.00
Subtotal				\$326,803,835,136.00

ELECTRIFICACIÓN	Valor unitario	Unidad	Cantidad	Total
Alimentación eléctrica	\$ 12,769.03	km	23.14	\$295,488,089,836.66
Subtotal				\$295,488,089,836.66

PUESTO CENTRAL DE CONTROL				
Descripción	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Total
Puesto Central de Control	Global	\$51,750,341,240.00	1.00	\$51,750,341,240.00
Subtotal				\$51,750,341,240.00

El detalle del cálculo se puede observar en el Anexo 1.

En el caso del Material Rodante se deja únicamente el ajuste por la TRM, sin embargo se considera una inflación promedio teniendo en cuenta los valores de inflación para Europa del 6.9% según <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/16324747/2-31032023-AP-EN.pdf/e1ba8561-cfa9-6734-3be3-e0ca47d635b6#:~:text=Euro%20area%20annual%20inflation%20is,office%20of%20the%20European%20Union> y de china del 3%, según <https://www.chinadaily.com.cn/a/202303/06/WS640525aaa31057c47ebb25aa.html>

MATERIAL RODANTE						
PROYECCIÓN		USD	TRM	Cop\$	Cantidad	Total
Trenes	Ud	USD 22,229,588.68	\$ 4,810	\$ 106,928,767,482	34	\$3,635,578,094,371.06
Vehiculos ferroviarios auxiliares	km	USD 2,659,157.72	\$ 4,810	\$ 12,791,080,457	23.14	\$295,998,392,844.99
Equipos mantenimiento mayor y menor	km	USD 2,713,783.09	\$ 4,810	\$ 13,053,839,416	23.14	\$302,078,897,922.07
Subtotal						\$4,233,655,385,138.12

4.7.1. Sistema de Señalización

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

La descripción completa del sistema de señalización se encuentra en el documento 15. CAC-SGC-IFE-INF.PAS-1-v.1.

Para la cuantificación del costo de este sistema se utilizaron los valores de la factibilidad de la L2MB, que se actualizaron con la inflación del 2022, para así llevarlos a valores de diciembre de 2022.

4.7.2. Sistema de Comunicaciones

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

- Redes de Comunicaciones:

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

Para la cuantificación del costo de este sistema se utilizaron los valores de la factibilidad de la L2MB, que se actualizaron con la inflación del 2022, para así llevarlos a valores de diciembre de 2022.

4.7.3. Sistemas para control de acceso

El sistema de Recaudo del Corredor Férreo del Sur tratará básicamente todo el hardware y software necesario para el procedimiento de ingreso controlado a las estaciones del sistema y a su vez del cobro de pasaje a los usuarios. El Sistema de Recaudo deberá estar conformado por un subsistema de autorizaciones de peaje y cancelaciones de uso.

Para realizar los cálculos de dimensionamiento del sistema de recaudo efectivo (cantidad de máquinas de ingreso, dispensadores de boletos o tarjetas, computadores, entre otros) se deben utilizar los datos del estudio de demanda de pasajeros en cada estación.

En los criterios de diseño del sistema de recaudo del Corredor Férreo del Sur, se deberá considerar el tiempo mínimo de evacuación versus la cantidad máxima de usuarios, el cual determina la cantidad necesaria de barreras o máquinas de acceso que se ubicarán en el lobby de cada estación.

El sistema de Recaudo deberá estar en interfaz con un sistema central que garantice el registro financiero y el movimiento de valores provenientes de la venta y recarga de títulos de transporte.

4.7.4. Sistema de alimentación eléctrica

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

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

4.7.5. Sistema de control de operaciones

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

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

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

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

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

El CCO deberá estar dotado mínimamente de:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.7.6. Dimensionamiento material rodante

El dimensionamiento de la línea empieza con la consideración de las previsiones de tráfico (demanda), las características del trazado de la línea, la ubicación de las estaciones y las dimensiones de los trenes. El trazado es utilizado como input para el simulador RailTraffic, incluye un cantonamiento de vías (cantón o circuito de vía fijo). Las dimensiones de los trenes incluyen la capacidad, las dimensiones de los equipamientos (puertas, asientos, etc.) y el desempeño (aceleración, desaceleración, etc.) del material rodante; estos datos son suministrados por el fabricante, conforme a una norma de comodidad predefinida. La capacidad del material rodante y el PPHPD previsto permite calcular el intervalo según la demanda, es decir, la frecuencia de los trenes necesaria para satisfacer la demanda. La factibilidad de este intervalo se verificará con el intervalo mínimo de la línea, a partir del trazado y el desempeño del material rodante. (debido a la Etapa en que se encuentra el proyecto (prefactibilidad) no es posible obtener datos tan detallados del material rodante a seleccionar).

La velocidad máxima se obtiene a partir de las características técnicas del material rodante y depende del tipo de trazado, es decir, el trazado debe cumplir las características y especificaciones geométricas técnicas esenciales para el desarrollo de la velocidad máxima del material rodante, considerándose el tiempo y la distancia necesarias para el desarrollo de esta velocidad y la distancia suficiente para el frenado con seguridad y confort.

Para la alternativa seleccionada, que comprende un tipo de sistema ferroviario, Metro pesado subterráneo, la distancia promedio entre las estaciones es de un (1.2) km y por el tipo de sistema, debe estar segregado al tránsito vehicular o peatonal, es decir, la vía de tránsito ferroviario de ningún modo puede ser compartida con otro tipo de sistema de transporte, es por ello que se han determinado las velocidades máximas de 80 km/h.

Finalmente lo que se obtuvo fue la necesidad de 29 trenes, que aplicando un factor de reserva del 15%, se obtiene el total de 34 trenes.

4.8. COSTOS ADICIONALES

Respecto a los costos adicionales, se tomaron % de acuerdo a lo indicado en el documento de Debida diligencia de la Estructuración integral de la Segunda Línea del metro de Bogotá, que se calculan a partir del valor de los Costos directos:

- Estudios y Diseños detallados, incluyendo Factibilidad: 4%
- Topografía, estudio catastral, estudios geotécnicos, relevamientos de tráfico: 3.5%
- Manejo ambiental y social: 2.5%
- Asistencia técnica en fase de licitación, de diseño y de obra: 0.75%
- Interventoría de obra: 2.5%
- Auscultación: 0.5%
- Asistencia técnica a la operación: 1%

En el Anexo 1, se muestran el archivo en Excel del cálculo del Capex.

5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTOS – OPEX

Los costos de explotación (operación y mantenimiento) están representados en personal, consumo eléctrico, mantenimiento y remplazo de elementos de vía, del material rodante y equipamientos fijos en estación y a lo largo de la infraestructura lineal de transporte.

En el caso de la alternativa seleccionada, que es con túnel, el consumo eléctrico será considerado teniendo en cuenta que deben funcionar sistemas de ventilación a gran escala, sistemas contra incendios e iluminación constante, estaciones subterráneas con equipamiento de ventilación forzada, aire acondicionado y extracción de humo, entre otros elementos de importancia que influyen directamente en el costo por el incremento necesario de personal e incremento en el consumo de energía eléctrica.

Respecto a las estructuras de costos, se definen las siguientes:

- Costos de Operación:
 - Consumo de Energía
 - Personal de Operaciones
 - Personal de Mantenimiento
 - Personal de Dirección

- Personal Administrativo
- Servicios
- Costos de Mantenimiento de la infraestructura:
 - Mantenimiento de Material Rodante
 - Mantenimiento de Infraestructura y Superestructura de vías y Catenarias
 - Mantenimiento del Sistema de Señalización y Telecomunicaciones
 - Mantenimiento de Instalaciones Fijas (Electromecánica)

En el caso de los costos de personal se tuvo en cuenta el factor prestacional, que fue calculado, considerando todos los parámetros legales, este se incluye en el Anexo 2. Adicionalmente para los salarios base se consideró los valores que son pagados en la Empresa Metro de Bogotá y que están disponibles en <https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Acuerdo-No.002-de-2022.pdf> estos valores fueron actualizados a diciembre de 2022, usando el valor de inflación de 13.12%.

Una vez determinados la totalidad de estos costos, a manera de resumen el total de Costos de operación y mantenimiento son:

Total 20 años	USD 1,596,017,903.99
Valor promedio anual USD	USD 79,800,895.20
Tasa de Cambio USD-COP (31-12-2022)	4810.2
Valor promedio anual MILLONES COP	\$ 383,858.27

PERSONAL	USD 318,721,285.73
ENERGÍA	USD 217,242,495.64
MANTENIMIENTO	USD 823,313,557.69
VARIOS	USD 236,740,564.93
TOTAL (USD)	USD 1,596,017,903.99
TOTAL (COP)	\$ 7,677,165,321,767.41
TOTAL (MCOP)	7,677,165

La totalidad de los costos se puede observar en el Anexo 2.

5.1. GENERALIDADES

Los costos de operación y mantenimiento se calculan considerando los costos generados en un período de tiempo (en este caso, un año) distribuidos en los kilómetros recorridos por cada tren (costo por tren-kilómetro). Es decir, se realiza un cálculo del costo de operación

y mantenimiento en un lapso de un año, luego se calcula el promedio del kilometraje recorrido por tren en ese año.

5.1.1. Costos por Consumo de Energía

Para el cálculo de costos por consumo de energía, se considera principalmente el resultado obtenido de las simulaciones de tránsito de trenes con el software RailTraffic, por alternativa, debido a que este arroja el consumo total en kW/h en una circulación por tren. Este valor multiplicado por la cantidad de circulaciones durante un año, y multiplicado por el valor monetario del kW/h en Colombia actualmente, se puede obtener el valor monetario del consumo de energía de tracción y auxiliares utilizada por los trenes durante un año.

Formulada de la siguiente manera:

$$C_{1A} = C_{1h} * C_{1d} * 365 \text{ días}$$

Siendo,

C_{1A} : Circulaciones en un año

C_{1h} : Circulaciones en una hora

C_{1d} : Circulaciones en un día

El valor obtenido en Circulaciones por año es multiplicado por el valor en kW/h de una sola circulación y por el valor monetario de un kW/h en Colombia actualmente.

$$CM_{1A} = C_{1A} * \frac{\text{kW/h}}{\text{Tren}_{1V}} * (\$/\text{kW})/h$$

Siendo,

CM_{1A} : Valor monetario en Consumo de energía de un año

C_{1A} : Número de circulaciones en un año

$\frac{\text{kW/h}}{\text{Tren}_{1V}}$: Kilovatios-hora por tren en una vuelta

$(\$/\text{kW})/h$: Valor monetario del kW/h en Colombia actualmente

Ahora bien, se desea tener mayor precisión de cálculo, obteniendo el valor monetario en consumo de energía en un kilómetro por tren. Se formula de la siguiente manera:

$$CM_{km} = \frac{[(\text{kW/h})/\text{Tren}_{1V}]}{L_i}$$

Siendo,

CM_{km} : Costo por kilómetro de recorrido por tren

$(kW/h)/Tren_{1V}$: Kilovatios hora consumidos por un tren en una vuelta

L_i : Longitud del Corredor

Como se mencionó anteriormente, los kW/h consumidos por tren en una vuelta es un dato arrojado por el simulador de tránsito de trenes (RailTraffic) donde se consideran valores reales de las características del material rodante, tales como, tensión de suministro, peso por eje, curvas de aceleración y frenado, resistencia al avance, entre otros, también son considerados los parámetros de la línea, tales como, curvas, gradientes, posición de las estaciones, frenado de confort, reutilización de la energía con frenado regenerativo, entre otros. Dicho esto, se presentan resultados de consumo de energía considerando de mayor relevancia los cálculos realizados por kilómetro de recorrido.

Tabla 2 Costos de energía por km de recorrido por tren

DESCRIPCIÓN	Alternativa Subterránea
Longitud de Línea (km)	23,141
Longitud de Vuelta (km)	46,282
Consumo de Energía por Vuelta por tren (kW/h)	636,31
Consumo de Energía por km por tren (kW/h)	13,76
Costo por kW/h en Colombia (nivel industrial) (USD)	0,091
Costos de Consumo de Energía de Tracción por km por tren (USD)	1,252

Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar que el Costo por kW/h en Colombia puede variar en el tiempo y con ello provocar grandes cambios en el cálculo del costo de consumo de energía. También puede ocurrir con la variación de la tasa de cambio USD/COP en Colombia.

Para continuar con el cálculo de consumo de energía es necesario tener presente el costo de la energía que se utilizará en los principales edificios que forman parte del Corredor Férreo del Sur, estos se denominarán como Costos de Consumo de Energía en Instalaciones Fijas y Taller y será estimado en un aproximado de 10% de la energía consumida en tracción de trenes para la alternativa subterránea, un 5% para la alternativa elevada y un 6% para la alternativa mixta. Los cálculos se pueden observar en el Anexo 2.

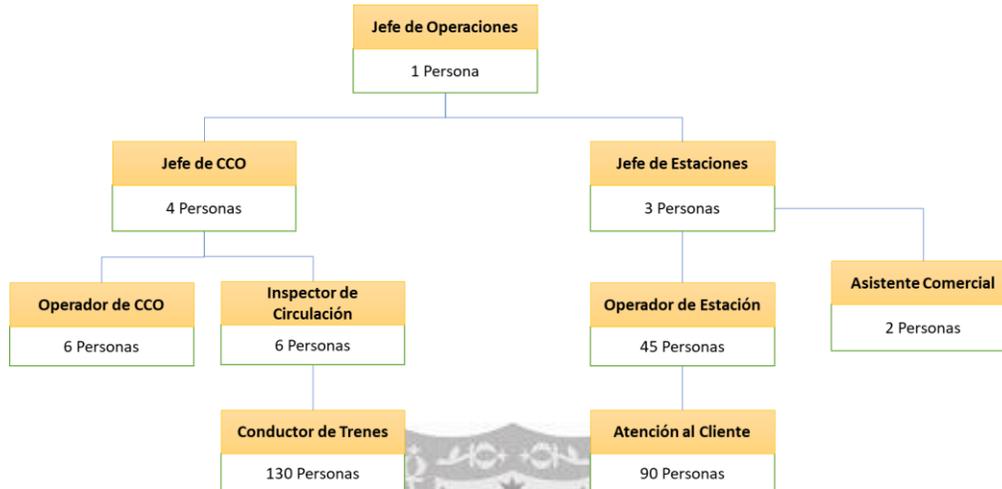
5.1.2. Personal de Operaciones

Para determinar la cantidad de personas necesarias en el departamento de operaciones, se ha realizado un organigrama por alternativa considerando los siguientes factores:

- Se prevé solo un jefe del área de Operaciones, encargado de los departamentos de Control y Estaciones.
- Para la jefatura del CCO se requieren cubrir tres turnos, de 06:00 a 14:00, de 14:00 a 22:00 y de 22:00 a 06:00. Adicionalmente se deberá disponer de un jefe de 8:00 a 16:00 que también estará disponible en las ausencias por vacaciones u otros factores.
- El Operador del CCO, será el encargado controlar el tráfico ferroviario, dando las indicaciones correspondientes a cada conductor, velando que se cumplan los horarios de salida e inserción de trenes a la línea. Se deben prever mínimo 2 personas por turno.
- EL Inspector de CCO, debe supervisar la actividad del controlador y debe estar capacitado también para el control. Debe dar garantía de cumplimiento de las normativas y estándares de calidad de servicio. Se deben prever 2 inspectores por turno.
- Conductor de Trenes, se calculan según la cantidad máxima de trenes que deben circular en la línea multiplicando este factor por tres, para cubrir tres turnos y considerando un 10% de personas más que cubrirán ausencias, vacaciones, capacitaciones, atención de patios y talleres u otros factores.
- Jefe de Estaciones, para la jefatura del departamento de Estaciones es necesario contar con tres profesionales, con la intención de cubrir zonas específicas de la línea por ejemplo (zona norte, zona central y zona sur)
- Asistente Comercial, encargado planificación de ventas, publicidad o marketing. Se estiman solo dos profesionales para cubrir este cargo.
- Operador de la Estación, encargado de garantizar el buen desempeño de los servicios en cada una de las estaciones. Capacitado también para control local del sistema en caso de entrar en modo degradado. Se considera necesario uno por estación por turno, más un porcentaje adicional del 10% para cubrir ausencias. Para a operación de estaciones será suficiente con cubrir dos turnos. EL turno nocturno no requiere necesariamente la presencia de Operadores de Estación en todas las estaciones.
- Atención al Cliente, se trata del personal que tendrá asignado la venta de títulos de transporte en cada estación. Se consideran dos por estación, dos turnos, más un 10% para cubrir ausencias, vacaciones u otros factores.

Se presenta el organigrama de la alternativa seleccionada.

Ilustración 9 Organigrama de Personal de Operaciones



Fuente: Elaboración Propia

Los costos de personal incluyen los sueldos y las remuneraciones (incluidas las primas, prestaciones sociales y gastos del empleador). En el cuadro a continuación se presenta el costo considerado por categoría de personal de operaciones.

Tabla 3 Remuneración Estimada Anual del Personal de Operaciones

ITEM	CARGO	SALARIO ESTIMADO, BRUTO ANUAL (\$ USD)
1	Jefe de Operaciones	72,246.86
2	Jefe de CCO	62,574.29
3	Jefe de Estaciones	35,226.46
4	Inspector de Circulación	35,226.46
5	Operador de CCO	25,679.98
6	Operador de Estación	21,931.73
7	Asistente Comercial	21,931.73
8	Conductor de Trenes	21,931.73
9	Atención al Cliente	14,000.55

Fuente: Elaboración Propia

El dimensionamiento de la planta de empleados permite una estimación global del futuro personal requerido, necesaria al cálculo del OPEX a nivel de prefactibilidad, pero puede variar según la organización y las condiciones laborales decididas por el futuro Operador.

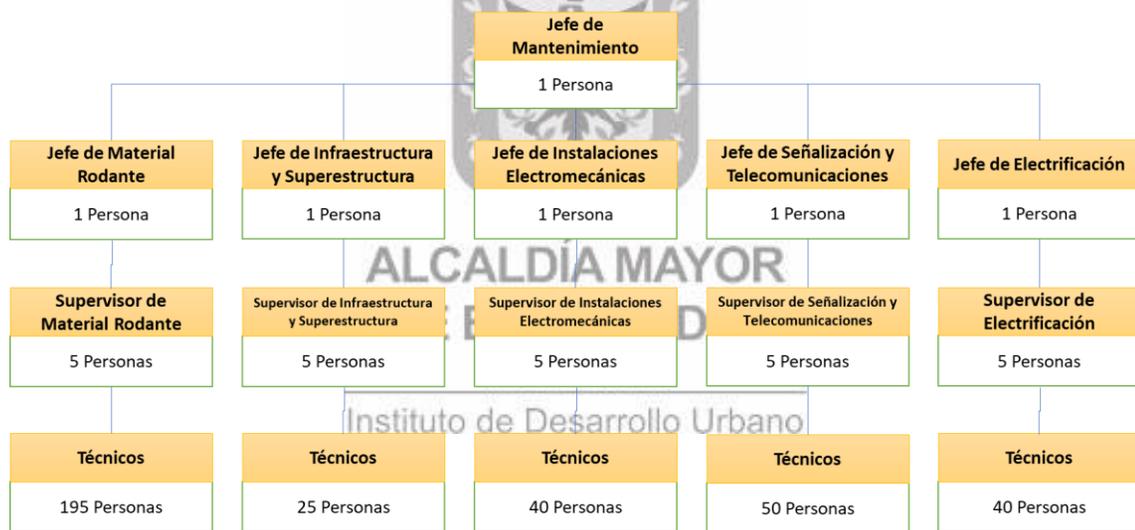
5.1.3. Personal de Mantenimiento

El cálculo de la cantidad de personal necesario para la ejecución del mantenimiento del Corredor Férreo del Sur es realizado considerándose esencialmente las dimensiones de la línea en cada alternativa, con este dato se puede tener una visión algo clara de la capacidad a instalar por sistema.

En el caso del personal de mantenimiento de material rodante donde se tienen datos más precisos en cuanto a cantidad de trenes por alternativa, se organiza considerando todas las áreas de atención, como preventivo, correctivo, mantenimiento de boggies, aire acondicionado, energía y limpieza, entre otros.

Como ejemplo se presenta el organigrama del personal necesario para la ejecución del mantenimiento del Corredor Férreo del Sur en su Alternativa 7.

Ilustración 10 Organigrama de Personal de Mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4 Remuneración Estimada Anual para el Personal de Mantenimiento

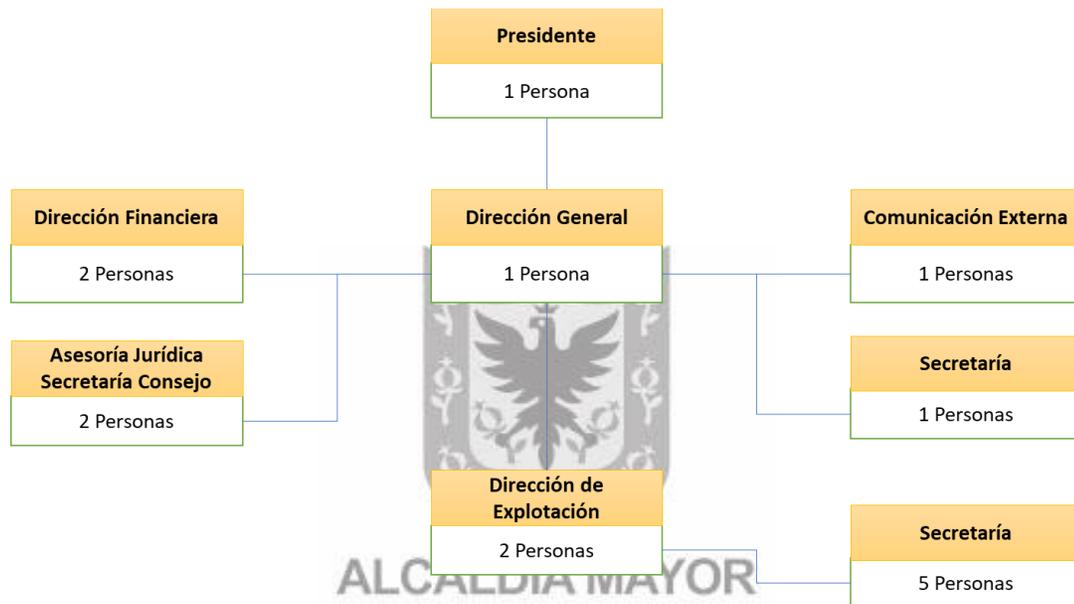
ITEM	CARGO	SALARIO ESTIMADO, BRUTO ANUAL (\$ USD)
1	Jefe de Mantenimiento	72,246.86
2	Jefe de Departamento	35,226.46
3	Supervisor de área	25,679.98
4	Técnico de Mantenimiento	21,931.73

Fuente: Elaboración Propia

5.1.4. Personal de Dirección y Administrativo

Se presenta el organigrama de personal de dirección y personal administrativo.

Ilustración 11 Organigrama de Personal de Dirección



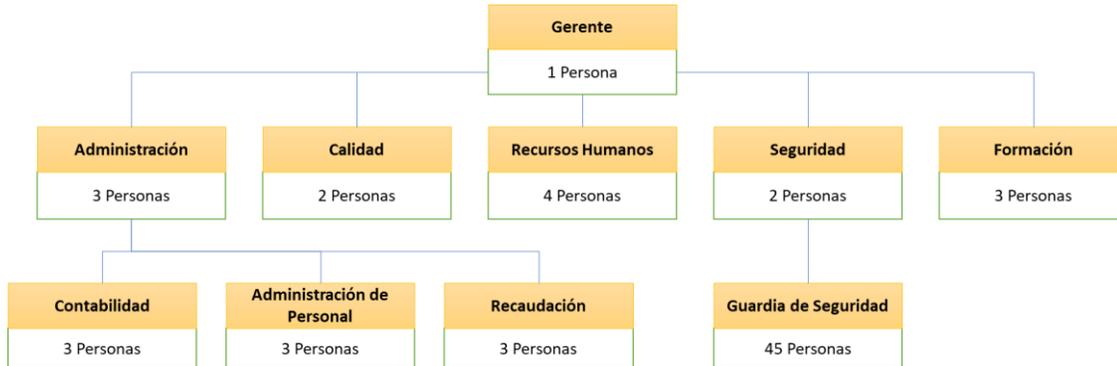
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5 Remuneración Estimada Anual de Personal de Dirección

ITEM	CARGO	SALARIO ESTIMADO, BRUTO ANUAL (\$ USD)
1	Presidente	72,246.86
2	Director General	72,246.86
3	Director de Explotación	62,574.29
4	Financiero	35,226.46
5	Comunicación Externa	25,679.98
6	Asesor Jurídico	42,890.14
7	Administrativo (Secretaría)	14,000.55

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 12 Organigrama de Personal Administrativo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6 Remuneración Estimada Anual de Personal Administrativo

ITEM	CARGO	SALARIO ESTIMADO, BRUTO ANUAL (\$ USD)
1	Gerente Administrativo	45,969.71
2	Administración	21,931.73
3	Calidad	21,931.73
4	Recursos Humanos	25,679.98
5	Seguridad	10,826.42
6	Guardias de Seguridad	21,931.73
7	Formación	25,679.98
8	Contabilidad	25,679.98
9	Admon Personal	25,679.98
10	Recaudación	25,679.98

Fuente: Elaboración Propia

5.1.5. Costos de Mantenimiento

El cálculo de costos de mantenimiento se basa en los costos medios unitarios observados en otros sistemas de metro similares en Latinoamérica y Europa y ajustados para tener en cuenta el costo relativo a la mano de obra en Colombia, que representa un 25% de los salarios observados en los países europeos.

Estos costos de mantenimiento se dividen en componentes de materiales fungibles de recambio y revisiones. Por lo tanto, la cuota relativa a la mano de obra (personal) se ha segregado del mantenimiento con el fin de reflejar las condiciones reales del mercado en Colombia, mientras el costo del material se considera similar al observado en países europeos.

Varios servicios de mantenimiento podrían subcontratarse: limpieza, mantenimiento de equipos de comunicaciones, mantenimiento de equipos electromecánicos en estaciones y

túneles, mantenimiento de subestaciones de alta tensión, inspección de obra civil, etc. Sin embargo, para esta estimación preliminar se tienen en cuenta los costos globales que cubren todas las operaciones de mantenimiento. Así, los costos de personal de mantenimiento indicados en el capítulo anterior (y ajustados a las condiciones locales) pueden corresponderse a personal de mantenimiento interno o a personal equivalente subcontratado.

Para obtener los valores precisos relacionados a los costos de mantenimiento de equipos de los diferentes sistemas y subsistemas, se han utilizado diversas herramientas y técnicas de análisis de datos. Uno de los principales recursos empleados es el software CONRAIL, desarrollado por la empresa Ardanuy. Esta herramienta es una aplicación basada en hojas de cálculo de Excel que permite simular los costos de mantenimiento en función de los datos existentes de experiencias pasadas de proyectos similares.

El software CONRAIL es una herramienta muy útil en el ámbito del diseño y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias, ya que permite obtener simulaciones precisas y fiables de los costos de mantenimiento de los diferentes equipos y sistemas proyectándolo a la cantidad de años que se requieran. Gracias a su capacidad para procesar grandes cantidades de datos y su facilidad de uso, el software se ha convertido en una herramienta indispensable para los profesionales del sector ferroviario en la empresa. Es importante destacar que los montos obtenidos a través del uso de CONRAIL no provienen de un dato específico dentro de las tablas, sino que se basan en una simulación rigurosa y precisa, lo que garantiza la fiabilidad de los resultados.

Los datos de entrada del Simulador son los siguientes:

- Número de Unidades de Tren
- Número de Coches
- Capacidad de los trenes (personas)
- Longitud del tren
- Tipo de Catenaria
- Cantidad de subestaciones eléctricas
- Cantidad de Talleres
- Cantidad de Pasajeros por año (estudio de demanda)
- Previsión del IPC anual
- Ingresos por billete vendido
- Tipo de Línea, subterránea, Túnel, Nivel o Mixto
- Cantidad de estaciones subterráneas
- Cantidad de estaciones elevadas
- Cantidad de estaciones a nivel
- Kilómetros de viaducto
- Tipo de Túnel (monotubo – bítubo)
- Tipología de la Infraestructura
- Tipología de la Superestructura

- Km de catenaria
- Tipo de Sistema de Señalización
- Vehículos auxiliares de mantenimiento
- Varios

Se muestran una serie de capturas de Pantalla del Simulador CONRAIL

NOMBRE DE LA EXPLOTACIÓN REGIOTRAM DEL SUR ALTERNATIVA SUBTERRÁNEA

TIPOLOGÍA DE INFRAESTRUCTURA METRO

1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA RED

Km línea	23.141 Km	Número de estaciones total	18 Unidades
Km vía doble	23.141 Km	Distancia entre dos estaciones (Km)	1 Km
Km vía única	0 Km	Nº estaciones subterráneas	18 Unidades
Ancho Vía	1435 mm	Número de subestaciones	6 Unidades
Tipo de vía	placa	Tipo de Catenaria	rígida

2. MATERIAL MÓVIL Y EXPLOTACIÓN

Número unidades de tren	34 trenes	Horas de circulación (H.C.)	302.220 Horas
Número de Coches	238 Coches	Horas efectivas de conducción anual por agente (H.E.A.)	1.750 Horas
Capacidad de los trenes comp.(personas)	1800 personas	Km totales recorridos por los coches	62.941.245 Km
Longitud de los trenes completos (m)	150 m		
Número de talleres	1 Unidades		

3. DATOS CONCESIÓN

1.1 DATOS DE ENTRADA 1.2 DEFINICIÓN INVERSIÓN BBDD 2.1 PRESUPUESTO DETALLADO 2.2 PRESUPUESTO RESUMEN 3.1 AMORTIZACIÓN

Figura 8 Datos de entrada

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año
5.1 Dirección y planificación																							
5.1.1 Personal dirección y planificación	0.0	88.9	71.3	75.6	80.0	84.4	88.8	93.1	97.5	101.9	106.3	110.6	115.0	119.4	123.8	128.1	132.5	136.9	141.3	145.6	150.0	154.4	158.8
Subtotal dirección y planificación	0.0	88.9	71.3	75.6	80.0	84.4	88.8	93.1	97.5	101.9	106.3	110.6	115.0	119.4	123.8	128.1	132.5	136.9	141.3	145.6	150.0	154.4	158.8
5.2 Mantenimiento Material Móvil																							
5.2.1 Personal mantenimiento material móvil	0.0	6,382.6	6,779.2	7,194.4	7,630.6	8,026.8	8,443.0	8,893.2	9,275.4	9,691.7	10,134.1	10,603.3	11,090.3	11,595.6	12,119.2	12,661.1	13,221.1	13,799.1	14,394.1	14,996.1	15,604.1	16,218.1	16,838.1
5.2.2 Material fungible y repuestos corrientes	0.0	127.2	129.8	143.9	152.2	160.5	168.9	177.2	185.5	193.8	202.2	210.5	218.8	227.1	235.5	243.8	252.1	260.4	268.7	277.1	285.4	293.7	302.0
5.2.3 Mantenimiento ciclo medio (bogies)	0.0	2,455.7	2,036.3	2,777.6	2,537.6	3,098.5	3,258.9	3,418.6	3,581.2	3,745.9	3,913.1	4,082.2	4,252.9	4,424.8	4,597.1	4,770.8	4,945.0	5,120.1	5,295.7	5,471.9	5,648.7	5,826.1	6,004.1
5.2.4 Limpieza comercial	0.0	624.1	676.9	717.6	759.5	800.0	841.5	883.0	924.5	965.9	1,007.4	1,048.9	1,090.4	1,131.9	1,173.4	1,214.9	1,256.4	1,297.9	1,339.4	1,380.9	1,422.4	1,463.9	1,505.4
5.2.5 Talleres de mantenimiento	0.0	382.0	407.0	432.0	457.0	482.0	506.9	531.8	556.7	581.6	606.5	631.4	656.3	681.2	706.1	731.0	755.9	780.8	805.7	830.6	855.5	880.4	905.3
5.2.6 Material de parque de repuestos de material móvil	0.0	1538.0	1623.9	1727.9	1827.9	1927.9	2027.9	2127.9	2227.9	2327.9	2427.9	2527.9	2627.9	2727.9	2827.9	2927.9	3027.9	3127.9	3227.9	3327.9	3427.9	3527.9	3627.9
Subtotal mantenimiento material móvil	0.0	11,489.0	12,246.6	12,992.2	13,743.7	14,495.4	15,247.0	15,998.6	16,750.2	17,501.8	18,253.5	19,005.2	19,756.7	20,508.3	21,259.9	22,011.6	22,763.1	23,514.7	24,266.3	25,017.9	25,769.5	26,521.1	27,272.7
5.3 Mantenimiento de Instalaciones Fijas																							
5.3.1 Personal mantenimiento INF	0.0	1,947.2	2,074.6	2,202.0	2,329.4	2,456.8	2,584.2	2,711.6	2,839.0	2,966.4	3,093.7	3,221.1	3,348.5	3,475.9	3,603.3	3,730.7	3,858.1	3,985.5	4,112.9	4,240.3	4,367.7	4,495.1	4,622.5
5.3.2 Material fungible y repuestos corrientes	0.0	194.1	207.5	220.9	233.0	245.7	258.4	271.2	283.9	296.7	309.4	322.1	334.8	347.6	360.4	373.1	385.9	398.6	411.3	424.1	436.8	449.5	462.2
Subtotal mantenimiento INF	0.0	2,141.3	2,282.1	2,422.9	2,562.4	2,702.5	2,842.6	2,982.8	3,122.9	3,263.0	3,403.1	3,543.2	3,683.3	3,823.5	3,963.7	4,103.8	4,243.9	4,384.0	4,524.1	4,664.2	4,804.3	4,944.4	5,084.5
5.4 Mantenim. Señalización y Comunicaciones																							
5.4.1 Personal mantenimiento señ. y com.	0.0	779.6	830.0	881.6	933.9	982.9	1,033.9	1,084.6	1,135.9	1,187.7	1,237.7	1,289.7	1,339.6	1,390.6	1,441.6	1,492.5	1,543.5	1,594.5	1,645.4	1,696.4	1,747.3	1,798.3	1,849.3
5.4.2 Material fungible y repuestos corrientes	0.0	77.9	83.0	88.1	93.2	98.3	103.4	108.5	113.6	118.7	123.8	128.9	134.0	139.1	144.2	149.3	154.4	159.5	164.6	169.7	174.7	179.8	184.9
Subtotal mantenimiento señ. y com.	0.0	856.9	913.0	969.1	1,025.1	1,081.2	1,137.2	1,193.3	1,249.3	1,305.4	1,361.5	1,417.6	1,473.6	1,529.7	1,585.8	1,641.9	1,697.9	1,753.9	1,809.9	1,866.0	1,922.0	1,978.1	2,034.2
5.5 Mantenimiento de Infraestructura y Superestructura de vía y catenaria																							
5.5.1 Personal de mantenimiento	0.0	489.6	520.6	552.6	584.5	616.5	648.5	680.4	712.4	744.4	776.3	808.3	840.3	872.2	904.2	936.2	968.1	1,000.1	1,032.1	1,064.0	1,096.0	1,128.0	1,160.0
5.5.2 Materiales fungibles y repuestos corrientes	0.0	48.9	52.1	55.3	58.5	61.7	64.9	68.0	71.2	74.4	77.6	80.8	84.0	87.2	90.4	93.6	96.8	100.0	103.2	106.4	109.6	112.8	116.0

Figura 9 Resultados de Costos de Mantenimiento

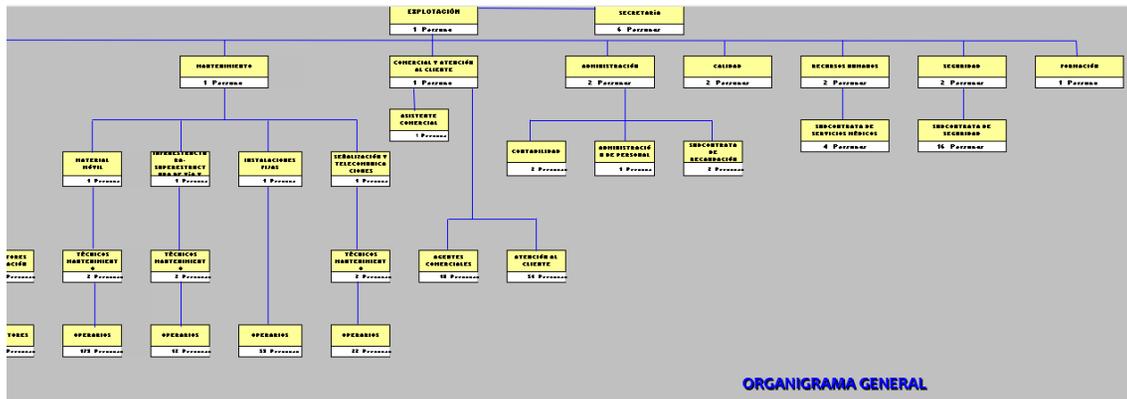


Figura 10 Resultados de Cantidad de Personal (Organigrama)

Los costos incluidos para el mantenimiento comprenden materiales fungibles, materiales consumibles y productos de mantenimiento, piezas de repuesto y reemplazo periódico de activos con una vida útil estimada inferior a 20 años. Una vez transcurridos 20 años, se considera una planificación de rehabilitación puntual para la mayoría de los componentes que forman parte de la Ingeniería Ferroviaria que puede denominarse como una reinversión para el sistema férreo que permitirá alargar la operación del sistema en el tiempo.

A los costos de cálculo de inversión observados en el CAPEX se debe añadir un porcentaje de estimación por encima del valor calculado que será añadido de manera puntual a cada uno de los componentes.

En la siguiente tabla se muestra el tiempo adecuado de planificación de reinversión por rehabilitación y el porcentaje estimado por encima del valor del CAPEX que debe considerarse por componente.

Tabla 7 Tiempos y porcentajes para la Reinversión

Descripción	Tiempo para Rehabilitación	Porcentaje de Reinversión según el CAPEX
Material Rodante	20 años	15%
Infraestructura y Superestructura de vías y catenarias	20 años	20%
Señalización y Telecomunicaciones	20 años	150%
Instalaciones Fijas (Electromecánica)	30 años	120%

Fuente: Elaboración Propia

6. RIESGOS ASOCIADOS AL COMPONENTE

Los riesgos del componente de presupuesto y cronograma están asociados en general con los siguientes temas

- Riesgo cambiario, al tener gran cantidad del presupuesto en moneda extranjera, existe el riesgo de los efectos favorables o desfavorables derivados de las variaciones de (i) el valor del Peso con relación a cualquier otra moneda, incluyendo pero sin limitarse al Dólar, (ii) los índices económicos colombianos, (iii) la economía colombiana o del país de origen del Concesionario (o de cualquiera de sus accionistas o miembros) o del país de origen del(los) Prestamistas.
- Aunque se han previsto tiempos que se consideran suficientes para la realización de los estudios de Factibilidad y los Estudios y Diseños de detalle, es importante que se tenga en cuenta que se está previendo que los estudios de Factibilidad inician en enero de 2024, dejando un aproximado de 8 meses para la estructuración de la licitación desde que termina el Contrato 1860 (Prefactibilidad), hasta el inicio de la Factibilidad, sin embargo, no se prevé los tiempos de estructuración de la licitación de estudios y diseños.
- Los efectos favorables o desfavorables derivados de las variaciones en los precios de mercado de los insumos necesarios (incluyendo mano de obra y servicios) para adelantar las Obras de Construcción y de las cantidades de obra que resulten necesarias para la consecución de los resultados previstos para la Construcción del proyecto.

7. CRONOGRAMA ESTIMADO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El cronograma del proyecto se realizó en base a los tiempos que se han observado de proyectos similares, tal y como se indica a continuación: _____

- Etapa de Factibilidad: 18 meses
- Etapa estudios y diseños de detalle: 18 meses
- Etapa de Construcción: 96 meses
 - Construcción línea
 - Construcción estaciones
 - Instalaciones ferroviarias
 - Suministro de equipamiento
- Etapa de Operación (20 años)

El cronograma se puede observar en el Anexo 6.

8. CONCLUSIONES

- El costo de inversión del proyecto es de un total de 25.922.061 millones de pesos colombianos, dichos valores son a precios constantes de diciembre de 2022, esto incluyendo Costos directos, AIU, Gastos adiciones y factor de incertidumbre sobre

los sistemas ferroviarios y sobre el resto de la inversión, considerando que aun se encuentra el proyecto en una etapa muy temprana.

- Los Costos de inversión están calculados dentro de una aproximación metodológica de aparente simplicidad tal como se practica en estas etapas de prefactibilidad, adoptando indicadores para la obtención del valor que se basan en la magnitud y tipología de las estructuras principales, se puede observar que del Costo directo, las estaciones, infraestructura y sistemas ferroviarios, conforman el 88% del total.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VR. (MILLONES COP)	
1	PRELIMINARES	\$ 434,593	2.60%
2	INFRAESTRUCTURA	\$ 2,069,700	12.39%
3	SUPERESTRUCTURA	\$ 1,185,941	7.10%
4	ESTACIONES	\$ 5,644,727	33.78%
5	INSTALACIONES FERROVIARIOS	\$ 1,055,053	6.31%
6	SISTEMAS FERROVIARIOS	\$ 5,830,480	34.89%
7	URBANISMO Y PAISAJISMO	\$ 231,621	1.39%
8	OTROS	\$ 257,104	1.54%
TOTAL COSTOS DIRECTOS		\$ 16,709,220	100.00%

- El análisis del método constructivo a ser utilizado en el proyecto se refleja en el cronograma, donde se ha realizado una aproximación a 8 años, considerando que para la ejecución del túnel se requeriría un tiempo total de 83.5 meses (6.95 años).