



**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.”**

**ALCALDIA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
MOVILIDAD**

Instituto de Desarrollo Urbano

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

**MATRIZ MULTICRITERIO SELECCIÓN DE TRAZADO GEOMÉTRICO SOBRE  
CORREDOR SELECCIONADO**

**ETAPA 4**

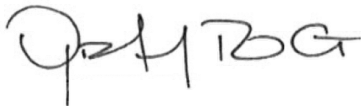

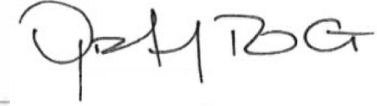
**VERSION 4**

**BOGOTÁ D.C., AGOSTO DE 2023**




### CONTROL DE VERSIONES

| Versión   | Fecha                     | Descripción de la Modificación      | Folios |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------|--------|
| Borrador  | 05/01/2023,<br>10/01/2023 | Elaboración Inicial                 | 43     |
| Versión 0 | 24/01/2023                | Atención comentarios interventoría  | 88     |
| Versión 1 | 10/02/2023                | Atención comentarios interventoría  | 88     |
| Versión 2 | 23/02/2023                | Atención comentarios interventoría  | 88     |
| Versión 3 | 22/06/2023                | Atención de observaciones de la EMB | 90     |
| Versión 4 | 14/08/2023                | Atención de observaciones de la EMB | 97     |

### EMPRESA CONTRATISTA

| ELABORADO POR:  | REVISADO POR:   | APROBADO POR:   |
|---|---|---|
|  | <br>ALCALDIA MAYOR<br>DE BOGOTÁ D.C.<br>MOVILIDAD<br>Instituto de Desarrollo Urbano |  |
| Ing. Oscar Rico<br>Director de Consultoría  | Ing. Carlos Urdaneta<br>Coordinador de Consultoría  | Ing. Oscar Rico<br>Director de Consultoría  |

### EMPRESA INTERVENTORA

| REVISADO POR:   | AVALADO POR:   | APROBADO POR:   |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Ing. Abraham Palacio<br>Director de Interventoría                                   | Ing. Diotima Preciado<br>Coordinador de Interventoría                                | Ing. Abraham Palacio<br>Director de Interventoría                                     |

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCION .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRAZADO.....</b>                                    | <b>9</b>  |
| 2.1. COMPONENTES, CRITERIOS E INDICADORES .....  | 10        |
| 2.2. EVALUACIÓN MULTICRITERIO .....  | 12        |
| <b>3. ALTERNATIVAS DE TRAZADO .....</b>  | <b>13</b> |
| 3.1. Tipología elevada.....  | 18        |
| 3.2. Tipología subterránea .....   | 20        |
| 3.3. Tipología mixta.....  | 24        |
| 3.4. Ubicación de las estaciones.....  | 26        |
| <b>4. PRESENTACIÓN DE LOS COMPONENTES DE ANÁLISIS Y DE LOS OBJETIVOS</b>                                   | <b>31</b> |
| 4.1. Presentación de los Componentes de análisis. ....   | 31        |
| 4.1.1. Criterios a desarrollar en el Componente 1 – Afectación Ambiental .....                             | 33        |
| 4.1.2. Criterios a desarrollar en el Componente 2 – Proceso Constructivo .....                             | 33        |
| 4.1.3. Criterios a desarrollar en el Componente 3 – Urbano – Paisajístico .....                            | 34        |
| 4.1.4. Criterios a desarrollar en el Componente 4 – Afectación Social.....                                 | 34        |
| 4.1.5. Criterios a desarrollar en el Componente 5 – Beneficios Sociales por Mejoras en<br>Transporte ..... | 35        |
| 4.1.6. Criterios a desarrollar en el Componente 6 – Financiero .....                                       | 35        |
| 4.1.7. Criterios a desarrollar en el Componente 7 – Riesgo .....   | 36        |
| <b>5. DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN POR OBJETIVO.....</b>                                     | <b>36</b> |
| 5.1. Indicadores Componente 1 – Afectación Ambiental: .....  | 37        |
| 5.1.1. Indicador No. 1: .....  | 37        |
| 5.1.2. Indicador No. 2: .....  | 37        |
| 5.1.3. Indicador No. 3: .....  | 38        |
| 5.2. Indicadores Componente 2 – Proceso Constructivo:.....   | 39        |
| 5.2.1. Indicador No.1: .....   | 39        |
| 5.2.2. Indicador No.2: .....   | 40        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 5.2.3.    | Indicador No.3: .....  | 41        |
| 5.2.4.    | Indicador No.4: .....  | 44        |
| 5.2.5.    | Indicador No.5: .....  | 45        |
| 5.3.      | Indicadores Componente 3 – Urbano - Paisajístico: .....  | 46        |
| 5.3.1.    | Indicador No.1: .....  | 46        |
| 5.3.2.    | Indicador No.2: .....  | 47        |
| 5.3.3.    | Indicador No.3: .....  | 48        |
| 5.4.      | Indicadores Componente 4 – Afectación Social: .....  | 49        |
| 5.4.1.    | Indicador No.1: .....  | 49        |
| 5.4.2.    | Indicador No.2: .....  | 50        |
| 5.4.3.    | Indicador No.3: .....  | 51        |
| 5.5.      | Indicadores Componente 5 – Beneficios Sociales por Mejoras en transporte ...                                 | 52        |
| 5.5.1.    | Indicador No.1: .....  | 52        |
| 5.6.      | Indicadores Componente 6 - Financiero: .....   | 53        |
| 5.6.1.    | Indicador No.1: .....  | 53        |
| 5.6.2.    | Indicador No.2: .....  | 54        |
| 5.6.3.    | Indicador No.3: .....  | 57        |
| 5.6.4.    | Indicador No.4: .....  | 57        |
| 5.7.      | Indicadores Componente 7 - Riesgos: .....  | 58        |
| 5.7.1.    | Indicador No. 1: .....   | 58        |
| <b>6.</b> | <b>RESULTADOS DE INDICADORES.....</b>  | <b>61</b> |
| 6.1.      | Componente 1 Ambiental.....  | 61        |
| 6.1.1.    | Indicador 1: Zonas Verdes .....  | 61        |
| 6.1.2.    | Indicador 2: Cruce con cuerpos de agua que puedan tener afectación en su dinámica hídrica e hidráulica. .... | 62        |
| 6.1.3.    | Indicador 3: Generación volumétrica de residuos.....   | 63        |
| 6.2.      | Componente 2 Proceso Constructivo .....  | 63        |
| 6.2.1.    | Indicador 1: Tiempo de construcción .....  | 63        |
| 6.2.2.    | Indicador 2: Generación de ruido .....   | 64        |
| 6.2.3.    | Indicador 3: Interferencia con redes.....  | 65        |
| 6.2.4.    | Indicador 4: Tramo de vía con influencia de cimentación profunda.....  | 69        |
| 6.2.5.    | Indicador 5: Restricciones afectación al tráfico vehicular y peatonal .....                                  | 70        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.3.      | Componente 3 Urbano-Paisajístico .....   | 71        |
| 6.3.1.    | Indicador 1: Potencial de generación de espacio público para circulación conexión  | 71        |
| 6.3.2.    | Indicador 2: Afectación de los bienes de patrimonio material con interés cultural mueble, arquitectónico y /o urbanístico en los tres niveles de declaratoria Nacional, Municipal y/o Distrital..... | 74        |
| 6.3.3.    | Indicador 3: Impacto visual.....   | 76        |
| 6.4.      | Componente 4 Afectación Social .....   | 76        |
| 6.4.1.    | Indicador 1: Afectación a la infraestructura o equipamiento social.....  | 76        |
| 6.4.2.    | Indicador 2: Afectación a zonas con presencia de sitios arqueológicos y segmentos del corredor férreo del Sur .....  | 79        |
| 6.4.3.    | Indicador 3: Identificación de predios afectados .....   | 82        |
| 6.5.      | Componente 5 Beneficios sociales por Mejoras en transporte .....   | 83        |
| 6.5.1.    | Indicador 1: Pasajeros transportados .....   | 83        |
| 6.6.      | Componente 6 Financiero .....  | 89        |
| 6.6.1.    | Indicador 1: Costo de inversión total.....   | 89        |
| 6.6.2.    | Indicador 2: Costo de operación y mantenimiento.....   | 89        |
| 6.6.3.    | Indicador 3: Costo promedio por estación .....   | 89        |
| 6.6.4.    | Indicador 4: Costo por km de línea .....   | 90        |
| 6.7.      | Componente 7 Riesgos.....  | 90        |
| 6.7.1.    | Indicador 1: Riesgo geotécnico.....  | 90        |
| <b>7.</b> | <b>ANÁLISIS DE RESULTADOS – EVALUACION MULTICRITERIO .....</b>   | <b>91</b> |
| 7.1.      | Resultados por componentes.....  | 92        |
|           | Afectación ambiental .....   | 92        |
|           | Proceso Constructivo.....  | 92        |
|           | Urbano – paisajístico .....  | 93        |
|           | Afectación social.....   | 93        |
|           | Beneficios sociales Mejoras en transporte.....   | 94        |
|           | Financiero.....  | 94        |
|           | Riesgo .....   | 95        |
| 7.2.      | Resultados totales.....  | 95        |
| <b>8.</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>96</b> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1 Metodología para Evaluación Multicriterio .....  | 9  |
| Ilustración 2 Alternativa 7 seleccionada en la Etapa 3.....  | 14 |
| Ilustración 3 Alternativa elevada.....   | 18 |
| Ilustración 4 Perfil alternativa elevada. ....   | 19 |
| Ilustración 5 Alternativa subterránea .....  | 20 |
| Ilustración 6 Comparación del trazado ajustado en planta en el cruce de la Av 1 de mayo con Av. 68.....              | 21 |
| Ilustración 7 Interacción entre la estación 7 de la PLMB y los túneles del Corredor férreo del sur.....              | 22 |
| Ilustración 8 Zona de empalme con el Patio Taller en Soacha. ....  | 23 |
| Ilustración 9 Perfil alternativa subterránea.....  | 23 |
| Ilustración 10 Alternativa mixta.....  | 24 |
| Ilustración 11 Perfil alternativa mixta.....   | 25 |
| Ilustración 12 Comparación del trazado de las 3 tipologías con sus estaciones .....                                  | 26 |
| Ilustración 13 Comparación de la ubicación de estación 5 .....   | 27 |
| Ilustración 14 Integración de la tipología subterránea con la Estación 7 de la PLMB.....                             | 28 |
| Ilustración 15 Comparación de la ubicación de estación 7 .....   | 29 |
| Ilustración 16 Comparación de la ubicación de estación 14 .....  | 29 |
| Ilustración 17 Diferencia de las estaciones 15, 16 y 17 entre la opción subterránea y elevada .....                  | 30 |
| Ilustración 18 Componentes Matriz Multicriterio Etapa 4 .....  | 32 |
| Ilustración 19 Área de influencia directa para la cuantificación de redes húmedas en las 3 tipologías.....           | 66 |
| Ilustración 20 Interferencia de redes secas en la Tipología Elevada .....  | 68 |
| Ilustración 21 Interferencia de redes secas en la Tipología Mixta.....   | 68 |
| Ilustración 22 Puntos conocidos con influencia de cimentación profunda (Calle 26, Mall Plaza, Calle 22 con NQS)..... | 69 |
| Ilustración 23 Punto conocido con influencia de cimentación profunda (Av 1 mayo con Av 68).....                      | 69 |
| Ilustración 24 Punto conocido con influencia de cimentación profunda sobre Av Bosa (Rio Tunjuelo) .....              | 70 |
| Ilustración 25 Mapa resultante generación espacio público para la tipología túnel .....                              | 72 |
| Ilustración 26 Mapa resultante generación espacio público para la tipología elevada .....                            | 73 |
| Ilustración 27 Mapa resultante generación espacio público de las tres tipologías .....                               | 73 |
| Ilustración 28 Resultados de áreas de potencial de espacio público circulación-conexión.....                         | 74 |
| Ilustración 29 Potencial arqueológico - Tipología subterránea.....   | 81 |
| Ilustración 30 Potencial arqueológico - Tipología mixta .....  | 81 |
| Ilustración 31 Potencial arqueológico - Tipología elevada .....  | 82 |
| Ilustración 32 Representación gráfica de los resultados finales.....   | 96 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Componentes, criterios e indicadores de la Matriz, con sus respectivos porcentajes .....                 | 10 |
| Tabla 2 Indicadores con evaluación de método de interpolación lineal.....  | 12 |
| Tabla 3 Ajustes planimétricos al trazado de la alternativa 7 seleccionada.....                                   | 15 |
| Tabla 4 Componentes Matriz Multicriterio y sus respectivos pesos .....   | 32 |
| Tabla 5 Criterios del Componente Afectación Ambiental y sus respectivos pesos .....                              | 33 |
| Tabla 6 Criterios del Componente Proceso Constructivo y sus respectivos pesos .....                              | 34 |
| Tabla 7 Criterios del Componente Urbano – Paisajístico y sus respectivos pesos .....                             | 34 |
| Tabla 8 Criterios del Componente Afectación Social y sus respectivos pesos.....                                  | 35 |
| Tabla 9 Criterios del Componente Beneficios sociales por mejoras en transporte y sus respectivos pesos .....     | 35 |
| Tabla 10 Criterios del Componente Costos y su peso .....   | 36 |
| Tabla 11 Criterios del Componente Riesgos y sus respectivos pesos .....  | 36 |
| Tabla 12 Indicadores del Componente Afectación Ambiental, y sus respectivos pesos ...                            | 39 |
| Tabla 13 Factor Complejidad para redes secas y húmedas .....   | 43 |
| Tabla 14 Indicadores del Componente Proceso Constructivo, y sus respectivos pesos ...                            | 46 |
| Tabla 15 Indicadores del Componente Urbano-Paisajístico y sus respectivos pesos .....                            | 49 |
| Tabla 16 Indicadores del Componente Afectación Social y sus respectivos pesos .....                              | 52 |
| Tabla 17 Indicadores del Componente Beneficios Sociales por Mejoras en Transporte, y sus respectivos pesos ..... | 53 |
| Tabla 18 Indicadores del Componente Financiero, y sus respectivos pesos .....                                    | 58 |
| Tabla 19 Indicadores del Componente Riesgos, y sus respectivos pesos.....  | 61 |
| Tabla 20 Áreas de Zonas Verdes.....  | 62 |
| Tabla 21 Resultados del indicador Cruce con cuerpos de agua.....   | 62 |
| Tabla 22 Generación volumétrica de residuos.....   | 63 |
| Tabla 23 Rendimientos método constructivo y estaciones .....   | 63 |
| Tabla 24 Datos para el cálculo tiempo de construcción .....  | 64 |
| Tabla 25 Tiempo total de construcción .....  | 64 |
| Tabla 26 Generación por ruido.....   | 64 |
| Tabla 27 Interferencia de redes húmedas .....  | 65 |
| Tabla 28 Interferencia redes de suministro eléctrico.....  | 67 |
| Tabla 29 Interferencia redes de telecomunicaciones y gas .....   | 67 |
| Tabla 30 Resultados de interferencias de las redes secas.....  | 68 |
| Tabla 31 Resultados de influencia de cimentación profunda.....   | 70 |
| Tabla 32 Resultados de afectación al tráfico vehicular .....   | 71 |
| Tabla 33 Unidades de los BIC afectados según tipología.....  | 75 |
| Tabla 34 Índice de cobertura según tipología.....  | 76 |
| Tabla 35 Afectación social (equipamientos). .....  | 77 |
| Tabla 36 Equipamientos afectados (recreación y deporte).....   | 78 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 37 Equipamientos afectados (centros educativos).....                         | 78 |
| Tabla 38 Equipamientos afectados (centros religiosos).....                         | 79 |
| Tabla 39 Sumatoria de km de potencial arqueológico por modalidad.....              | 80 |
| Tabla 40 Cantidad de predios afectados .....                                       | 82 |
| Tabla 41 Valores de gestión predial .....  | 83 |
| Tabla 42 Perfiles de carga tipo túnel. ....  | 86 |
| Tabla 43 Pasajeros transportados.....  | 88 |
| Tabla 44 Costos de inversión .....   | 89 |
| Tabla 45 Costo anual de O&M por tipología.....                                     | 89 |
| Tabla 46 Costos por estación.....  | 90 |
| Tabla 47 Costos por km de línea.....   | 90 |
| Tabla 48 Longitud en la que el criterio es relevante dentro del trazado .....      | 90 |
| Tabla 49 Calificación criterio riesgo geotécnico.....                              | 91 |
| Tabla 50 Calificación consolidada criterio riesgo geotécnico .....                 | 91 |
| Tabla 51 Resultados del componente afectación ambiental.....                       | 92 |
| Tabla 52 Resultados del componente proceso constructivo .....                      | 92 |
| Tabla 53 Resultados del componente urbano - paisajístico.....                      | 93 |
| Tabla 54 Resultados del componente afectación social .....                         | 93 |
| Tabla 55 Resultados del componente beneficios sociales mejoras en transporte ..... | 94 |
| Tabla 56 Resultados del componente financiero .....                                | 94 |
| Tabla 57 Resultados del componente riesgo.....                                     | 95 |
| Tabla 58 Resultados finales de la evaluación multicriterio.....                    | 96 |



## 1. INTRODUCCION

Con el objetivo de determinar la alternativa de implantación del trazado del Corredor Ferreo del Sur, se planteó realizar la aplicación de una matriz multicriterio para analizar diferentes alternativas de trazado sobre el Corredor seleccionado en Etapa 3, se expone en el presente documento el desarrollo de este Análisis Multicriterio, realizado por el Consorcio Ardanuy Colombia y su correspondiente desarrollo para analizar las tres opciones de implantación.

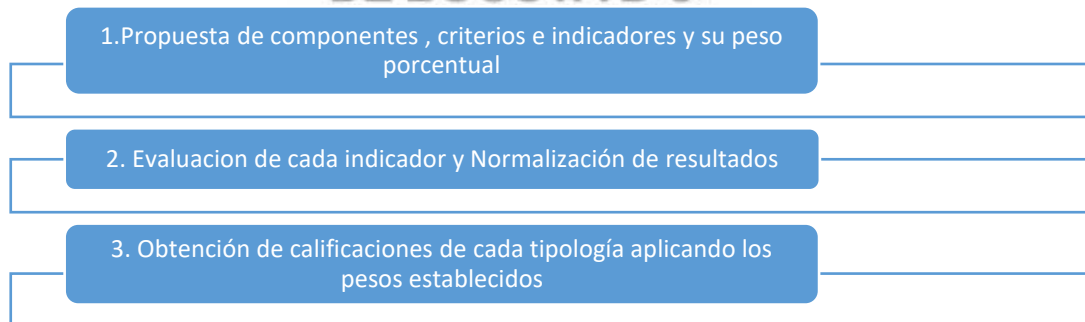
- Subterráneo
- Elevado
- Mixta

El desarrollo del presente documento está basado en la matriz multicriterio aplicada en la Etapa 3 del presente contrato, donde se han seleccionado los componentes, criterios e indicadores que aplicaban considerando que las tres tipologías a evaluar se encuentran en el mismo trazado y por tanto en algunos de los indicadores no se presentaban diferencias que permitieran el correcto uso del análisis multicriterio.

## 2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRAZADO.

En este capítulo se presenta los pasos a seguir de la metodología propuesta y empleada para el desarrollo de esta evaluación multicriterio, tal como se muestra en la siguiente figura:

*Ilustración 1 Metodología para Evaluación Multicriterio*



*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

El paso 1 se plantean los componentes, criterios e indicadores que componen la matriz multicriterio, y se presenta la ponderación de cada uno de los indicadores que integran cada componente, estos se presentan en una tabla resumen en el numeral 2.1 de este documento.

El paso 2, consiste en aplicar la evaluación definida a cada uno de los resultados que se deriven del cálculo de los indicadores propuestos y posterior a esto se realiza la ponderación de los resultados.

Para el paso 3, se obtienen las calificaciones por componente y por último la calificación final para cada alternativa de implantación tomando en consideración los pesos diferenciales para cada uno de los componentes y criterios.

## 2.1. COMPONENTES, CRITERIOS E INDICADORES

En este numeral, se presenta una tabla resumen con los 7 componentes, 15 criterios y 30 indicadores con sus respectivos pesos, que fueron definidos por el consultor y avalados por la interventoría.

Tabla 1 Componentes, criterios e indicadores de la Matriz, con sus respectivos porcentajes

| Componente             | Peso | Criterio   | Peso | Indicador  | Peso Indicador |
|------------------------|------|--|------|--|----------------|
| Afectación ambiental   | 13%  | Afectación a zonas verdes y cruce de cuerpos de agua | 60%  | Zonas verdes endurecidas (áreas verdes endurecidas)  | 30%            |
|                        |      |  |      | Cruces con cuerpos de agua (lenticos y loticos)  | 30%            |
|                        |      | Generación de RCD                                    | 40%  | Generación volumétrica de residuos   | 40%            |
| Proceso Constructivo.  | 14%  | Rendimiento  | 29%  | Tiempo total de construcción   | 29%            |
|                        |      | Ruido  | 19%  | Generación de ruido por la construcción del sistema  | 19%            |
|                        |      | Redes  | 22%  | Interferencias con redes principales (húmedas y secas)   | 22%            |
|                        |      | Puntos condicionantes                                | 30%  | Longitud de tramo de vía en influencia de cimentación profunda                                     | 15%            |
|                        |      |  |      | Restricciones afectación al tráfico vehicular y peatonal - Estaciones, Viaducto-obra en superficie | 15%            |
| Urbano – Paisajístico. | 15%  | Renovación urbana                                    | 60%  | Potencial de generación de espacio público para circulación-conexión                               | 60%            |

| Componente                                   | Peso | Criterio                                   | Peso | Indicador   | Peso Indicador |   |     |
|--|------|--|------|---|----------------|---|-----|
|  |      | Ciudad construida                          | 40%  | Afectación a Bienes de Interés Cultural   | 20%            |   |     |
|  |      |  |      | Impacto visual  | 20%            |   |     |
| Afectación Social.                           | 5%   | Afectación a las comunidades y territorio. | 50%  | Afectación a la infraestructura o equipamiento social: recreativa, hospitales, centros educativos, centros de salud, centros religiosos, organizaciones sociales y a las manifestaciones culturales de los entornos barriales | 50%            |   |     |
|  |      |  |      | Afectación a sitios arqueológicos   | 20%            | Afectación de zonas con presencia de sitios arqueológicos y segmentos del corredor férreo del Sur | 20% |
|  |      |  |      | Afectación predial  | 30%            | Identificación de predios afectados   | 30% |
| Beneficios sociales<br>Mejoras en transporte | 21%  | Mejoras de transporte                      | 100% | Pasajeros transportados   | 100%           |   |     |
| Financiero.                                  | 22%  | Costos                                     | 50%  | Costos de inversión total, incluidos los costos de gestión predial (adquisición y gestión)  | 25%            |   |     |
|  |      |  |      | Costo de operación y mantenimiento  | 25%            |   |     |
|  |      | Costos unitarios                           | 50%  | Costo por estación  | 25%            |   |     |
|  |      |  |      | Costo por km de la línea  | 25%            |   |     |
| Riesgo.                                      | 10%  | Riesgos geotécnicos                        | 100% | Riesgo de subsidencia o afectación a estructuras  | 100%           |   |     |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 2.2. EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para la evaluación multicriterio se debe normalizar la valoración de cada indicador, con el objetivo de poder aplicar los pesos de los componentes e indicadores y, sumar y comparar todas las alternativas bajo los mismos parámetros.

Para la normalización de cada uno de los indicadores, se contemplaron dos (2) métodos que fueron usados para la evaluación multicriterio de la Segunda Línea del Metro de Bogotá (SLMB): calificación proporcional y método de interpolación lineal continua, particularmente de la siguiente manera:

- **Calificación proporcional**

El método de calificación proporcional, consiste en asignar un número del 1-100, siendo el 100 el que califica la alternativa con mejor desempeño, y al resto de alternativas se asigna un número respecto a la alternativa con mejor puntaje, de acuerdo con los resultados dados.

Este método se usó para la mayoría de los indicadores que fue posible, pues este es aplicable a los datos siempre y cuando los valores no sean igual a cero (0).

- **Interpolación lineal continua**

El método de interpolación lineal continua, consiste en asignar un número del 10-100, siendo el 100 el que califica la alternativa con mejor desempeño y el 10 la de peor desempeño.

Este método se optó por usar en algunos casos, particularmente para los indicadores donde los datos son iguales a cero (0), y que con el método de calificación proporcional los resultados no eran concluyentes y generaban valores distorsionados, este fue el caso de los siguientes indicadores:

*Tabla 2 Indicadores con evaluación de método de interpolación lineal*

| COMPONENTE            | INDICADOR                                       |
|-----------------------|---|
| Afectación ambiental  | Cruces con cuerpos de agua (lenticos y loticos) |
| Urbano - paisajístico | Impacto visual                                  |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023*

### 3. ALTERNATIVAS DE TRAZADO

Antes de proceder con la explicación de las alternativas de trazado, resulta importante mencionar que, previamente a la finalización de la etapa 3 caracterización y diagnóstico, los resultados de la matriz multicriterio realizada en la etapa 3 fueron socializados con la interventoría, Empresa Metro de Bogotá – EMB, supervisión IDU y por último a la Alcaldía de Bogotá. Como resultado de la reunión presencial con la Alcaldía de Bogotá sostenida el 5 de octubre de 2022, como cierre de la etapa 3 quedaron algunas recomendaciones sobre el trazado de la alternativa 7 seleccionada para evaluar y analizar con mayor detalle durante la etapa 4, que obedecen a lo siguiente: i) Analizar y definir el nodo de inicio en Bogotá (Estación de la Sabana o Estación Central), ii) Revisar detalladamente el cruce de la Av. 1 de mayo con Av. 68 y iii) Revisar el trazado teniendo en cuenta la zona de expansión en el Municipio de Soacha.

Tras un análisis detallado durante la etapa 4 – profundización sobre la alternativa seleccionada de cada una de las recomendaciones dadas, y como parte de las actividades a desarrollar durante la misma etapa, desde la disciplina de diseño geométrico férreo y vial, tal como lo establece los capítulos técnicos, numerales 1.3.1.4.2 y 1.3.1.5.2, obedece al prediseño geométrico (planimétrico y altimétrico) del trazado, conlleva a realizar algunos ajustes tanto en planta como en perfil. Para ello, se realizó la revisión del trazado de la alternativa 7 seleccionada con la información suministrada durante la etapa 4 de los proyectos de transporte futuros de Bogotá, tales como los avances de prediseños y/o modelos del viaducto de Regiotram de Occidente, estación 7 y 13 de la Primera Línea del Metro de Bogotá y mesas de trabajo con la ERU sobre los planes parciales que vienen adelantando en la Ciudad de Bogotá.

Con esta claridad dada, en primera instancia se procede a presentar en la siguiente ilustración el trazado de la alternativa seleccionada en la Etapa 3, denominada Alternativa 7, en tipología Metro Pesado, y la descripción del trazado. Este trazado proporciona la base para la propuesta de las alternativas de trazado en perfil a evaluar en el presente documento.



Ilustración 2 Alternativa 7 seleccionada en la Etapa 3.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

A continuación, se realiza la descripción del trazado:

1. Inicia desde la estación de la Sabana ubicada en la Calle 13 con Carrera 18.
2. Recorre la Avenida Ferrocarril del Sur existente hasta llegar a la Calle 57b Sur con Carrera 63. En el mismo sentido y durante este tramo intercepta con las siguientes vías principales: Avenida Calle 13, Avenida Calle 6 (también conocida como Avenida Américas), Avenida Calle 3 con Avenida Carrera 50 (Glorieta), Avenida Primera de mayo con Avenida Carrera 68 (Glorieta) y Avenida Boyacá.
3. Continúa por la Calle 57b Sur, atravesando la Avenida Ciudad de Villavicencio y justo donde termina la Calle 57b Sur atraviesa por el Cementerio El Apogeo hasta llegar a la Avenida Bosa.
4. Continúa sobre la Avenida Bosa en sentido Sur – Norte, atravesando la glorieta Avenida Bosa con Carrera 80 (también conocida como Avenida Abastos) y la glorieta Avenida Bosa con Avenida Ciudad de Cali.
5. Continúa en el mismo sentido sobre la Calle 59B Sur, Calle 59C Sur y Calle 60 Sur hasta llegar a la Avenida El Tintal (Carrera 91).
6. Gira a la izquierda para tomar la Avenida el Tintal (Carrera 91) hasta conectar con la Avenida Circunvalar del sur.



7. Avanzando por esta vía se proyecta el trazado, atravesando el Río Tunjuelo y posteriormente la Carrera 78 con la Avenida Tierra Negra. En este tramo no hay una vía existente definida.
8. Continúa por la avenida Tierra Negra hasta llegar a la Calle 17.
9. Gira a la izquierda para tomar la Calle 17 en sentido Sur, hasta la Avenida las Torres.
10. Continúa por la Avenida las Torres hasta llegar a la Avenida San Marón.
11. Finalmente, gira a la izquierda para tomar la Avenida San Marón hasta llegar a la Vía Indumil. Durante este tramo intercepta con la Carrera 19B, Carrera 19A, Carrera 19, Carrera 15B y la glorieta de Avenida San Marón con Carrera 12.

A partir del trazado presentado previamente, se propone las tres opciones de implantación, una totalmente subterránea, otra totalmente elevada y una mixta, y además se incluyen los ajustes realizados en planta y perfil, producto del análisis y revisión desde la especialidad de diseño geométrico de las recomendaciones dadas en la etapa 3, y que se explicaran con detalle a continuación.

- **Ajustes sobre el trazado en planta**

Los ajustes en planta realizados sobre el trazado seleccionado en la etapa 3, se muestran en la siguiente tabla, la cual distingue visualmente en cada uno de los sectores la comparación del trazado seleccionado en la etapa 3 (color verde) y el trazado optimizado para esta etapa 4 (color naranja) y además precisa la justificación del ajuste.

*Tabla 3 Ajustes planimétricos al trazado de la alternativa 7 seleccionada*

| ETAPA 3 (Previa)   | ETAPA 4 (Actual)  |
|--|---|
|  |   |
| Estación de la Sabana  | Estación Central<br>En este nodo de inicio se realizó un ejercicio de análisis de demanda, llegando a la conclusión que |

se identificó mayor proporción de viajes que se dirigen más hacia el Norte, por el centro expandido (Barrios Unidos, Chapinero) a diferencia de la Estación de la Sabana y este además favorece la integración con otros medios de transporte como lo es la PLMB, Transmilenio y Regiotram de Occidente.



Cruce en la Av. 1 de mayo con Av. 68 antes se tenía en tramo recto, es decir; sobre la franja férrea existente.

En el Cruce en la Av. 1 de mayo con Av. 68:  
- Para la tipología elevada se realizó el desvío para lograr la interconexión a un tercer nivel con la estación 7 del metro la cual se ubica al costado sur oriental del corredor.  
- Para la tipología subterránea se realizó el desvío para no interferir con la cimentación del viaducto del metro de Bogotá y el paso subterráneo peatonal de la troncal de la 68 de TransMilenio.



Sector San Bernardino XVIII

Cruce sector San Bernardino XVIII, ahora el trazado se ajustó hacia el costado oriental para no afectar el

humedal la Isla y no tener alguna interferencia con el plan parcial la Merlene.



Cruce en la zona de expansión Soacha

Cruce en zona de expansión Soacha, ahora el trazado se ajustó hacia el costado oriental por lo siguiente: Atravesar de tal forma que, sea central a la población, no afectar el humedal San Isidro, no interferir con el sector que tiene valor arqueológico y por último para optimizar en el trazado la transición para llegada al patio taller.

- **Ajustes sobre el trazado en perfil**

En cuanto al trazado en perfil, se sostuvo una mesa de trabajo con el Convenio 1539 - 2021 el 23 de diciembre de 2022, en la cual se discutieron y definieron las siguientes premisas para ser tenidas en cuenta en cada una de las tres (3) propuestas de perfil a evaluar en



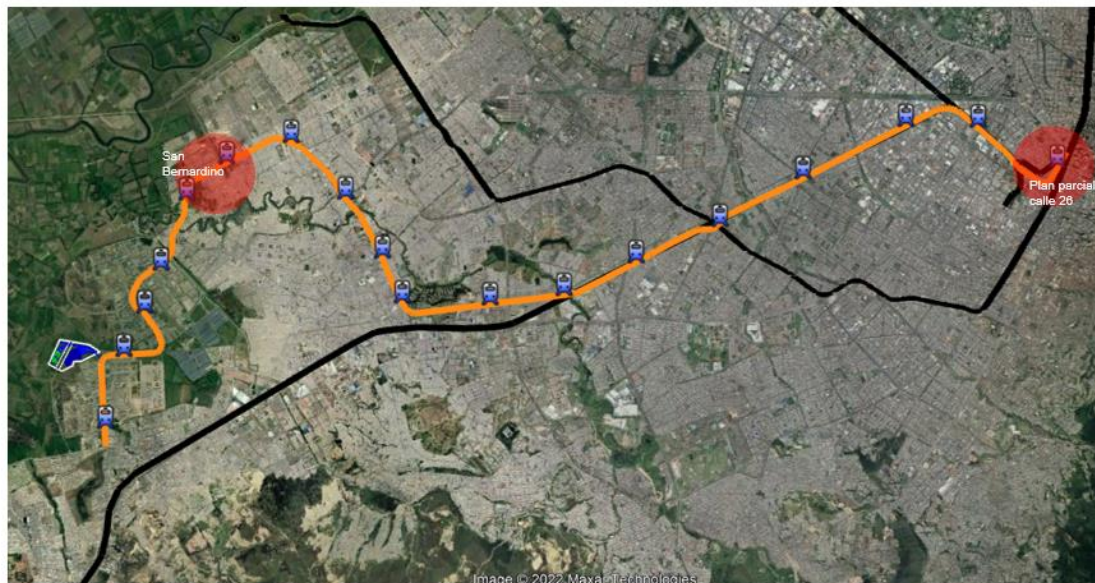
este documento; para la tipología elevada a 15 metros de elevación a cota riel y para la tipología subterránea a -25 metros de profundidad a cota riel, para esta definición de premisas se toma en cuenta como referencia el estudio y avance del proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Teniendo claro los ajustes previamente explicados al trazado en planta y en perfil, producto de análisis detallado al trazado seleccionado en la etapa 3 y entendiéndose que con estas optimizaciones se obtiene el trazado base definitivo, se propusieron las siguientes tres (3) opciones de tipología, siendo estos, objeto de análisis y evaluación en esta matriz multicriterio. A continuación, se presenta las 3 tipologías de la alternativa 7 seleccionada a evaluar:

### 3.1. Tipología elevada

El trazado en viaducto tiene una longitud de 24,374 km y 18 estaciones, y está condicionada por dos puntos críticos como lo son el Plan parcial de la Estación Metro Calle 26 y el Plan parcial el Edén. En la siguiente ilustración, los planes parciales se encuentran ubicados en donde se observa los círculos de color rojo.

*Ilustración 3 Alternativa elevada*



Elevado 

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

Los dos puntos condicionantes, se denominan de esta manera porque el trazado por esta zona este sujeto a las siguientes circunstancias:

- **Plan Parcial de la Estación Metro Calle 26:** Esta ubicado en las localidades de Santa fe, Barrio La Alameda y localidad de Mártires, Barrio Santa fe. Este proyecto urbanístico va articulado a la principal estación intermodal del distrito, a partir de la integración de la Estación del Metro de Bogotá de la Calle 26; la Estación Central de TransMilenio y la Estación de Regiotram de Occidente.

La ejecución de este plan parcial, tal cual se planea actualmente no permitiría la construcción de la cola de maniobras y dificultaría la conexión del nodo de inicio con la estación 7 de la PLMB, por tanto, en dado caso que esta tipología quede seleccionada se deberá ajustar el Plan Parcial.

- **Plan parcial el Edén:** Esta ubicado en la localidad de Bosa, y este busca generar equipamientos para atender la demanda escolar, generación de vivienda y mejorar las condiciones viales y espacio público.

Actualmente, por donde va el trazado, es una zona en la cual habría una zona residencial, en dado caso que, esta tipología quede seleccionada, se tendrá que reevaluar el plan parcial y armonizarlo con el trazado de la línea de metro entre el k18+220 hasta el k18+880.

La cota de los rieles para la alternativa elevada se realizó de acuerdo con la premisa definida con la EMB y acordada durante la reunión llevada a cabo el 23 de diciembre, a una elevación de 15 metros por encima de la superficie del terreno. Sin embargo, existe un punto, en el cual esta condición cambia, como lo es el paso en la Av. 68 con 1 de mayo, pues al tener que pasar encima de la estación 7 de la PLMB, allí el trazado cambia su elevación a 26 metros por encima del terreno, considerándose un tercer nivel.

Ilustración 4 Perfil alternativa elevada.

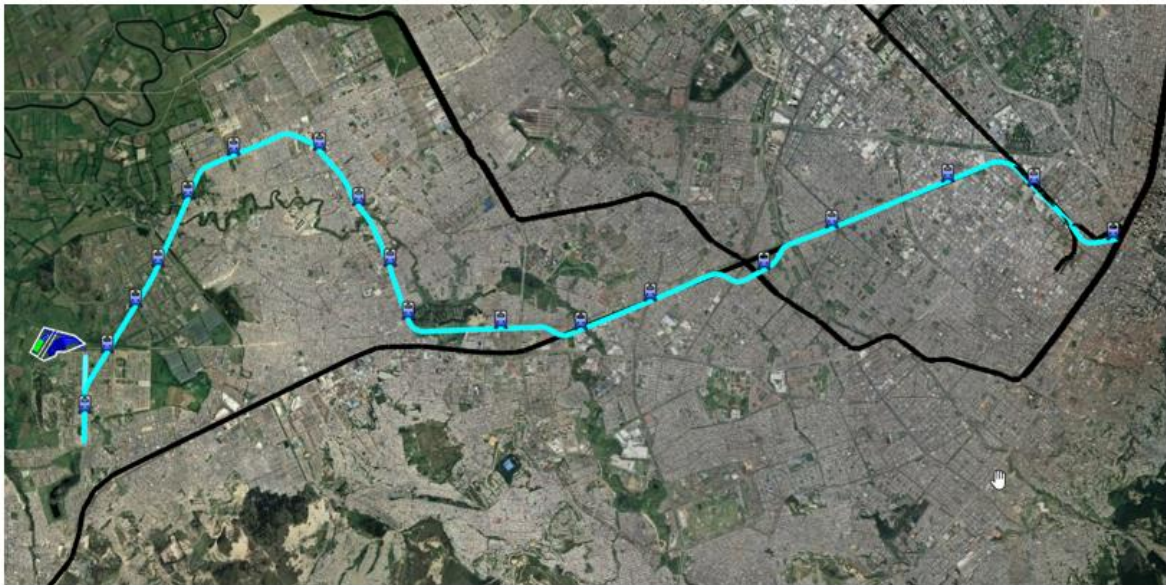


Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

### 3.2. Tipología subterránea

El trazado en subterráneo tiene una longitud de 23,122 km y 18 estaciones, en este trazado se elimina las curvas presentes a la llegada de la Calle 26 y en la entrada a Soacha, lo cual mejoraría la operación ferroviaria.

*Ilustración 5 Alternativa subterránea*



Túnel 

MOVILIDAD  
*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*  
Instituto de Desarrollo Urbano

Para esta alternativa se considera como puntos condicionantes los siguientes dos sectores del trazado:

- **Cruce Av. 1 de mayo con Av. 68**

En este sector se revisó el trazado seleccionado en la etapa 3 integrando la información suministrada del avance de los modelos de la estación 7 de la PLMB, y como parte de la verificación se opta por realizar un desvío hacia el Sur para no interferir de manera considerable con la cimentación tanto del viaducto de la Primera Línea del Metro de Bogotá, como con la de los edificios de la estación, ni con el paso subterráneo peatonal de la troncal de la 68 de TransMilenio. En la siguiente ilustración se puede observar el cambio realizado en planta.

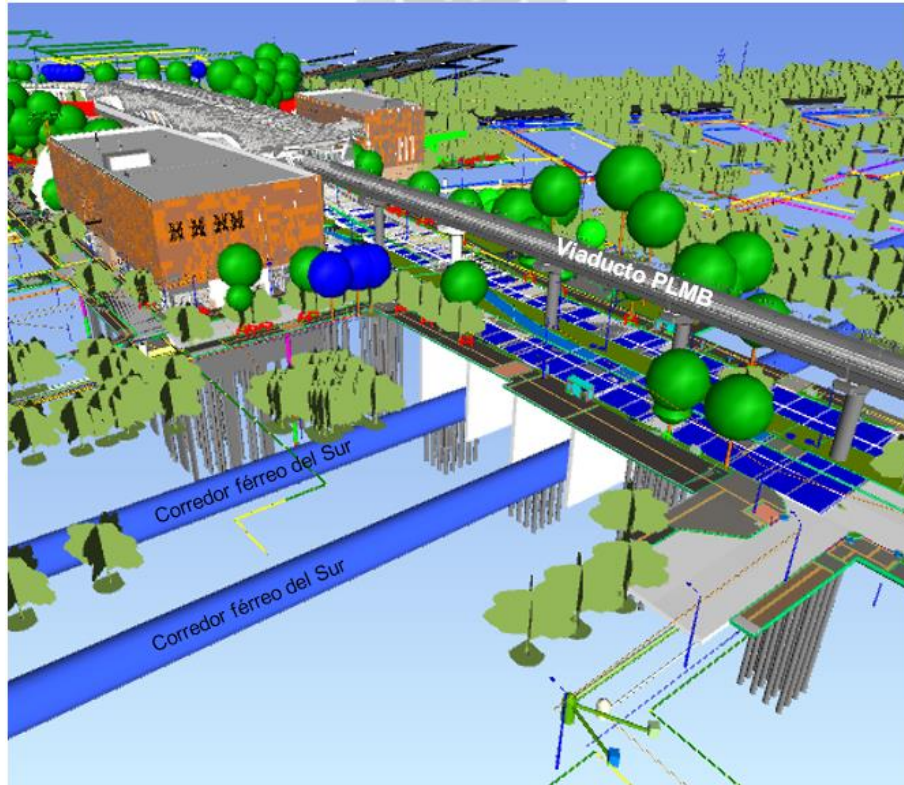


Ilustración 6 Comparación del trazado ajustado en planta en el cruce de la Av 1 de mayo con Av. 68



Este desvío implica proponer atravesar el viaducto de la Primera Línea del Metro de Bogotá y lograr continuar el trazado hacia el sur - occidente, para ello los túneles del corredor férreo del sur deberán pasar por entre la cimentación del viaducto de la Primera Línea del Metro de Bogotá y unas pantallas de contención evitan las deformaciones causadas por la perforación de los túneles, así como se puede observar en la siguiente ilustración.

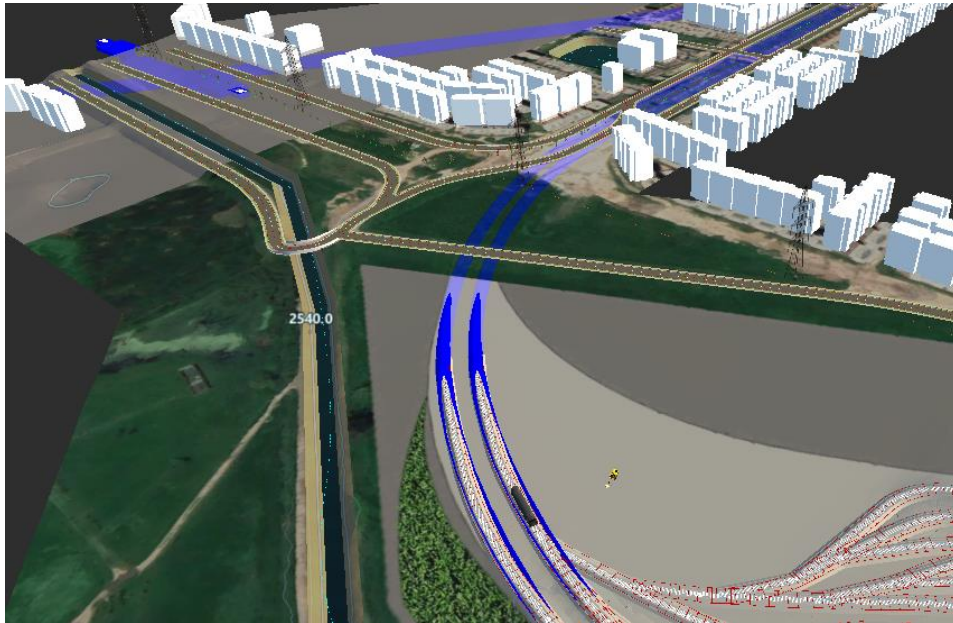
Ilustración 7 Interacción entre la estación 7 de la PLMB y los túneles del Corredor férreo del sur.



- **Empalme con Patio taller**

Este trazado subterráneo tiene una transición de túnel – a superficie en su tramo final en Soacha, para lograr empalmar con el patio taller, tal y como se muestra en la siguiente ilustración.

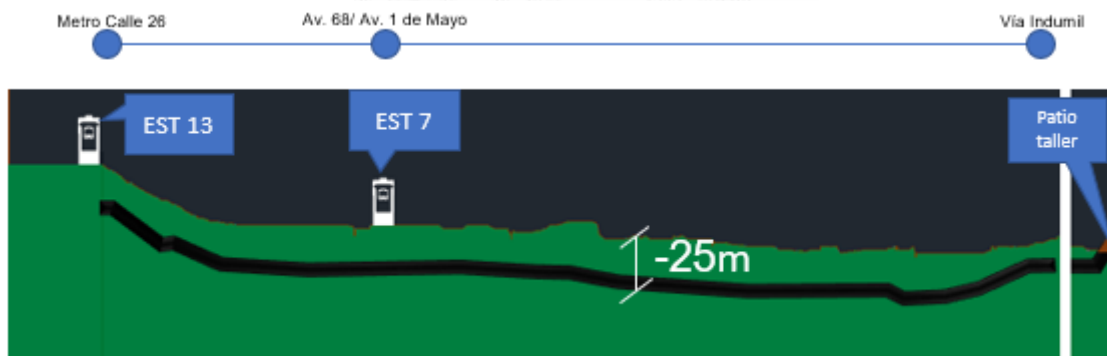
Ilustración 8 Zona de empalme con el Patio Taller en Soacha.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

El trazado altimétrico se realizó de acuerdo con la premisa definida con la EMB y acordada durante la reunión llevada a cabo el 23 de diciembre, de una profundidad de 25 metros a cota riel.

Ilustración 9 Perfil alternativa subterránea.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022



### 3.3. Tipología mixta

El trazado mixto tiene una longitud de 23,103 km y 18 estaciones, y se configura de la siguiente manera: el primer tramo es subterráneo con una longitud de 11,993 km, continúa el segundo tramo elevado con una longitud de 4,932 km, y finalmente un tercer tramo en subterráneo con una longitud de 6,178 km.

La transición de túnel - viaducto se presenta a la altura del Portal del Sur y Cementerio El Apogeo y la transición viaducto - túnel se presenta a la altura del Colegio Leonardo Posada Pedraza, Sector San Bernardino en Bosa. Este trazado está condicionado por la intervención de las transiciones, que se encuentran ubicados espacialmente en donde se observa los círculos de color rojo.

*Ilustración 10 Alternativa mixta*



*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

Los puntos condicionantes están dados por las siguientes circunstancias:

- **Portal Sur/Jardines del Apogeo:** Al no poder construir la transición túnel-viaducto en este sector, la salida del túnel tendría que hacerse a lo largo de la Av. Bosa o hacia el costado occidental de esta Avenida. Esto conllevaría a una afectación considerable en la movilidad del sector o a la demolición de varias manzanas.

El trazado altimétrico se realizó de acuerdo con las premisas definidas con la EMB y acordada durante la reunión llevada a cabo el 23 de diciembre, para los tramos

subterráneos con una profundidad de 25 metros a cota riel y para el tramo elevado a una elevación de 15 metros por encima de la superficie del terreno.

Ilustración 11 Perfil alternativa mixta.



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

#### Justificación del cambio de la tipología mixta del trazado entre la etapa 3 y etapa 4

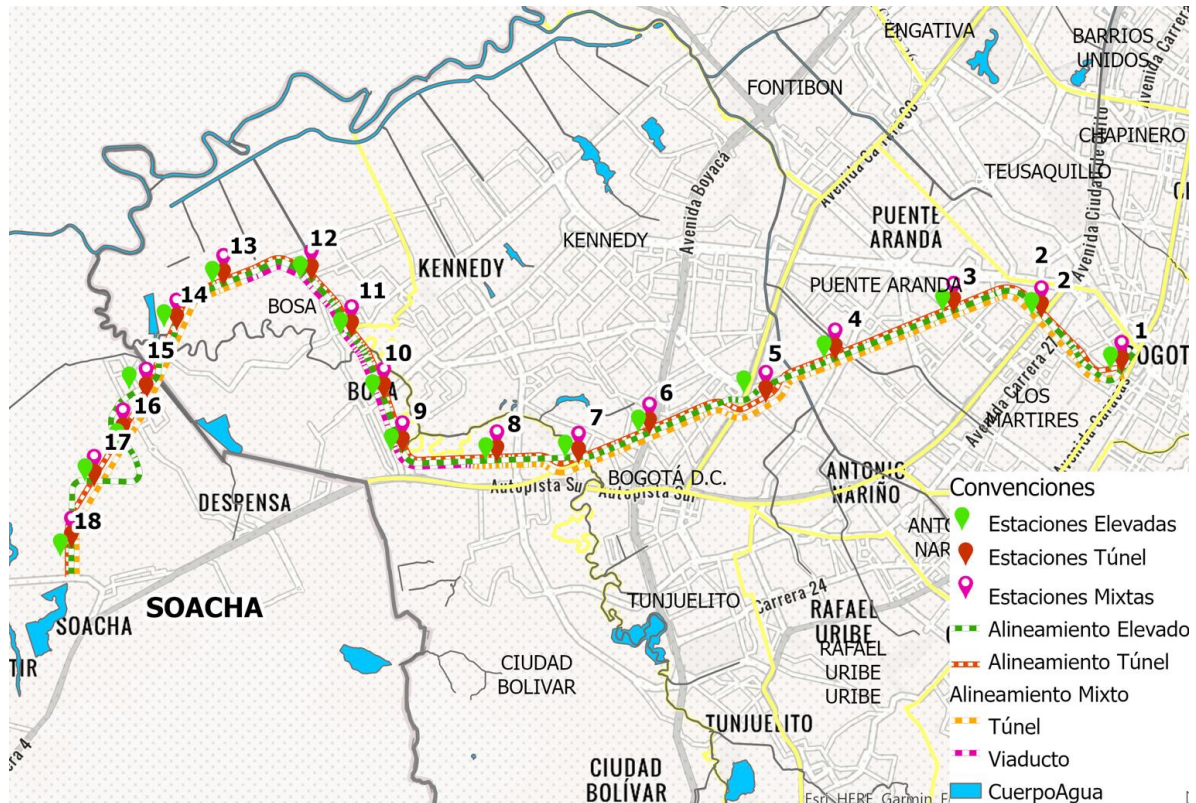
Cabe mencionar que, la alternativa 7 seleccionada en la etapa 3 se configuraba con una tipología mixta, estos tramos fueron planteados de manera preliminar a partir de la información secundaria recopilada en la etapa 2 desde las diferentes especialidades técnicas de la consultoría. Con la definición del trazado de los diferentes corredores propuestos con su tipología, se realizó la caracterización y diagnóstico sobre cada uno, y enseguida una evaluación multicriterio para evaluar y comparar entre sí estos corredores.

Como resultado de la etapa 3 caracterización y diagnóstico de las diferentes disciplinas del componente técnico sobre los diferentes trazados, las recomendaciones dadas, la información suministrada durante la etapa 4, y como parte de las actividades a desarrollar durante la última etapa 4 desde la disciplina de diseño geométrico, que obedece al prediseño geométrico (planimétrico y altimétrico) del trazado seleccionado para determinar la solución de inserción del proyecto, se resuelve realizar modificaciones en varios sectores que fueron explicados previamente tanto en planta y por consiguiente conllevando a modificar el trazado en perfil acorde con las premisas definidas, por lo que la tipología mixta del trazado seleccionado en la etapa 3 es totalmente diferente a la que se plantea en la etapa 4. Estas modificaciones permiten una mejor conexión entre el corredor férreo del Sur y los proyectos de transporte existentes y futuros de Bogotá-región. Por lo anterior y en aras de definir y realizar un análisis completo, no solo desde la especialidad de diseño geométrico sino desde las demás áreas técnicas de la consultoría, la tipología a lo largo de todo el trazado optimizado en planta; se procede a realizar esta evaluación multicriterio que se abordará a lo largo del presente documento.

### 3.4. Ubicación de las estaciones

Una vez visto cada una de las tres (3) opciones de tipología, resulta importante concluir que todas las opciones de tipología tienen la misma cantidad de estaciones, 18 en total y, aclarar que, la ubicación de cada estación depende de la demanda, más, sin embargo, a nivel de diseño geométrico se presentan algunos cambios leves en planta haciendo la comparación del alineamiento con la ubicación de cada de las estaciones para cada una de las 3 alternativas, de seis (6) estaciones, tres (3) en Bogotá y tres (3) en Soacha, identificadas en la siguiente ilustración como: Estación 5, 7, 14, 15, 16 y 17. De igual forma, en el carpeta denominada “Anexo 5” se adjunta un mapa con las alternativas de trazado para mejor visualización.

Ilustración 12 Comparación del trazado de las 3 tipologías con sus estaciones



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

A continuación, se ilustra y se describe cada una de las estaciones que presentan variación en la ubicación de las estaciones, vale la pena aclarar que la diferencia se presenta generalmente en la opción elevada.



## Estación 5

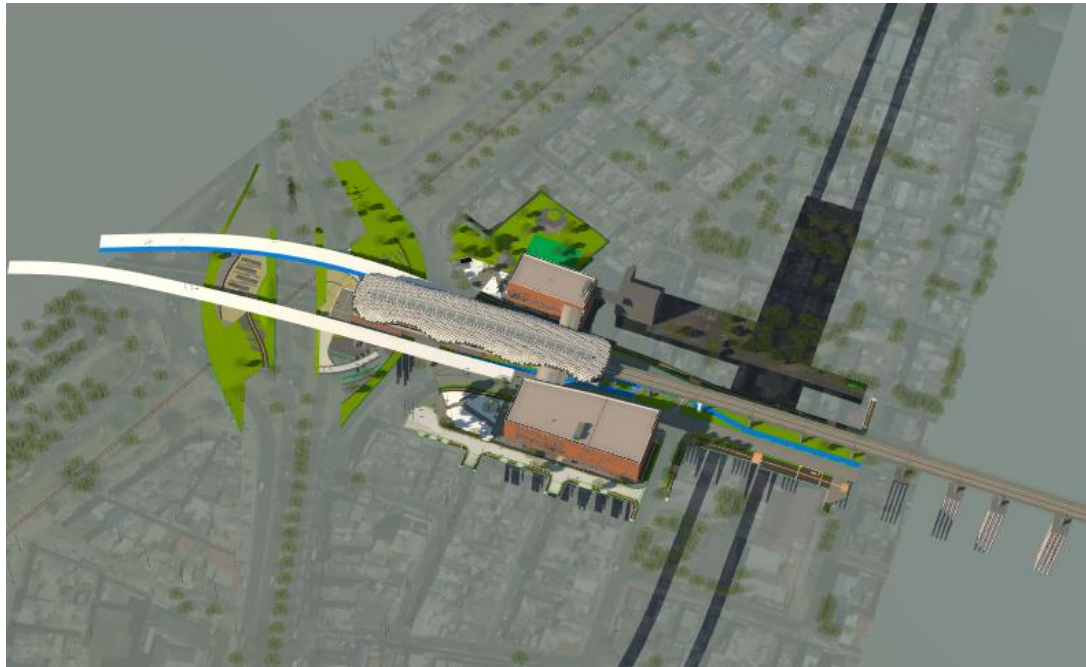
La estación 5 se ubica aproximadamente en el cruce de la Av. 1 de mayo con Av. 68, espacialmente en la siguiente imagen se puede observar que la ubicación de estación de la opción elevada varía con respecto a la opción subterránea y mixta, esto se debe a que en la opción elevada se propone realizar integración física como un tercer nivel con la estación 7 de la PLMB, y para la subterránea se plantea ubicar la estación antes de atravesar por medio de las pilas del viaducto de las estación 7, también permitiendo la integración con la estación 7 de la PLMB, tal como se observa en la ilustración 13.

*Ilustración 13 Comparación de la ubicación de estación 5*



*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023*

Ilustración 14 Integración de la tipología subterránea con la Estación 7 de la PLMB



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### Estación 7

La estación 7 se ubica aproximadamente al frente del Centro Comercial Paseo Villa del Río, espacialmente en la siguiente ilustración se puede observar que la ubicación de estación de la opción elevada varía con respecto a la opción subterránea y mixta, esto se debe a que en la opción elevada el trazado se proyecta en lo posible en la vía existente, en este caso con la Calle 57b Sur mitigando la afectación predial, por ende, no es viable ubicarla en el mismo sitio de la opción subterránea sobre la franja férrea del Sur, porque al dar continuidad al trazado en sentido oriente-occidente se tendría mayor afectación predial.

Ilustración 15 Comparación de la ubicación de estación 7



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

#### Estación 14

La estación 14 se ubica aproximadamente en el Sector de San Bernardino, espacialmente en la siguiente ilustración se puede observar que la ubicación de estación de la opción elevada varia con respecto a la opción subterránea y mixta, esto se debe a que la opción elevada se plantea por la vía existente de la Carrera 92 y conectar con la proyección de la vía de la Calle 78 Sur, de tal forma que no afecte considerablemente el plan parcial el Edén que viene adelantando la ciudad.

Ilustración 16 Comparación de la ubicación de estación 14



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023



### Estación 15, 16 y 17

La estación 15 se ubica aproximadamente en la Avenida Tierra Negra con Diagonal 40, la estación 16 se ubica aproximadamente sobre la Calle 17 entre la Carrera 31 y Carrera 32 y la estación 17 se ubica aproximadamente sobre la Avenida San Marón con Calle 13, todas en Soacha.

Espacialmente en la siguiente ilustración se puede observar que la ubicación de las estaciones 15, 16 y 17 de la opción elevada varía con respecto a la opción subterránea y mixta, esto se debe a que la opción elevada se plantea sobre las vías existentes para evitar afectación predial mientras que para la opción subterránea no se presenta esta afectación con la infraestructura existente ni con la actualmente planificada, por consiguiente, y particularmente en toda la zona de expansión de Soacha se realiza la optimización del alineamiento eliminando las curvas que no se ven obligadas a seguir y mejorando la operación del sistema.

*Ilustración 17 Diferencia de las estaciones 15, 16 y 17 entre la opción subterránea y elevada*



*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023*

#### **4. PRESENTACIÓN DE LOS COMPONENTES DE ANÁLISIS Y DE LOS OBJETIVOS**

El presente documento se desarrolló basado en el documento CAC-SGC-GEN-MMC-01-v.3 Matriz Multicriterio, que fue presentado en el marco del alcance de la Etapa 3 del presente contrato con el cual se definió el trazado, denominado alternativa 7. A partir de este trazado en planta con los ajustes expuestos en numeral 3, se propusieron tres (3) opciones de trazado en perfil (subterráneo, elevado, mixta) para definir la tipología de la alternativa 7 seleccionada.

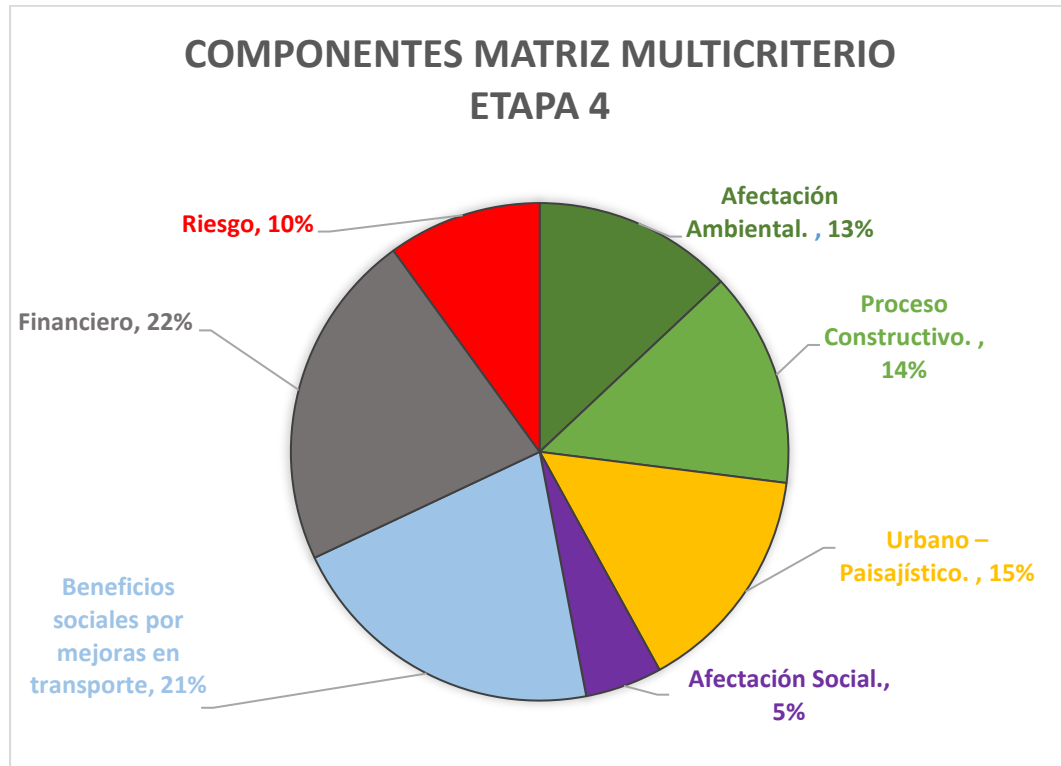
Además, en la reunión llevada a cabo el día 5 de diciembre entre consultoría e interventoría, se socializaron, revisaron y definieron los componentes, criterios e indicadores que serían objeto de esta evaluación multicriterio. En total resultaron 7 componentes, 15 criterios y 20 indicadores.

##### **4.1. Presentación de los Componentes de análisis.**

A partir de los componentes del documento denominado “CAC-SGC-GEN-MMC-01-v.3 Matriz Multicriterio”, se propuso eliminar el componente de Uso franja férrea existente, esto teniendo en cuenta que las tres propuestas de tipología a evaluar en esta etapa tienen el mismo trazado, recorriendo sobre el antiguo corredor del Sur particularmente en Bogotá, así mismo, el origen-destino es igual.

Con base en los pesos definidos en la Matriz Multicriterio de la Etapa 3, y considerando que se eliminó uno de los componentes que tenía un peso del 7%, este valor se distribuye proporcionalmente en los demás componentes, como se muestra en la Ilustración 18 Componentes Matriz Multicriterio.

Ilustración 18 Componentes Matriz Multicriterio Etapa 4



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

Instituto de Desarrollo Urbano

Tabla 4 Componentes Matriz Multicriterio y sus respectivos pesos

| Componente                                    | Peso        |
|---|-------------|
| Afectación Ambiental.                         | 13%         |
| Proceso Constructivo.                         | 14%         |
| Urbano – Paisajístico.                        | 15%         |
| Afectación Social.                            | 5%          |
| Beneficios sociales por mejoras en transporte | 21%         |
| Financiero.                                   | 22%         |
| Riesgo  | 10%         |
| <b>TOTAL</b>                                  | <b>100%</b> |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022



Para cada uno de los componentes, se han revisado los criterios que aplican para esta etapa del proyecto, considerando que no se están evaluando corredores sino la implantación (subterráneo, elevado o mixta), y teniendo en cuenta que la finalidad es determinar cuál de las propuestas es la que resulta seleccionada, para sobre esta realizar los estudios de profundización desde las diferentes disciplinas y componentes a nivel de prefactibilidad.

A continuación, se presentan los objetivos cuyo nivel de cumplimiento se medirán en la evaluación de redes para cada uno de los componentes de análisis.

#### 4.1.1. Criterios a desarrollar en el Componente 1 – Afectación Ambiental

Este primer componente se enfoca en evaluar las posibles afectaciones ambientales que podrían darse por el tipo de implantación del trazado.

A continuación, se presenta los dos (2) criterios del primer componente – Afectación Ambiental:

1. Afectación a zonas verdes y cruce de cuerpos de agua.
2. Generación de RCD

Tabla 5 Criterios del Componente Afectación Ambiental y sus respectivos pesos

| Componente           | Criterio                  | Peso |
|----------------------|---------------------------|------|
| Afectación ambiental | Afectación a zonas verdes | 30%  |
|                      | Cruce de cuerpos de agua  | 30%  |
|                      | Generación de RCD         | 40%  |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

#### 4.1.2. Criterios a desarrollar en el Componente 2 – Proceso Constructivo

El segundo componente por evaluar en la Matriz multicriterio es el Proceso Constructivo. Este tiene el objeto de evaluar los impactos que puede ocasionar el proyecto sobre los habitantes que viven en las inmediaciones o zonas afectadas por el tipo de implantación sobre la alternativa de trazado, durante el periodo de las obras de construcción.

Este componente está conformado por los siguientes criterios:

1. Rendimiento
2. Ruido
3. Redes

#### 4. Puntos condicionantes

Tabla 6 Criterios del Componente Proceso Constructivo y sus respectivos pesos

| Componente           | Criterio              | Peso |
|----------------------|-----------------------|------|
| Proceso Constructivo | Rendimiento           | 29%  |
|                      | Ruido                 | 19%  |
|                      | Redes                 | 22%  |
|                      | Puntos condicionantes | 30%  |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

#### 4.1.3. Criterios a desarrollar en el Componente 3 – Urbano – Paisajístico

El tercer componente a evaluar es Urbano – Paisajístico, en el cual se evalúa la coherencia de la inserción del proyecto con la dinámica urbana y la identificación del potencial de modificación para mejorar la competitividad y calidad de vida de los ciudadanos de los sectores intervenidos según el tipo de implantación sobre la alternativa de trazado. Lo anterior, teniendo en cuenta que el proyecto de transporte es un proyecto que impacta el desarrollo físico-espacial de la ciudad, pero así mismo constituye una oportunidad de modificar las estructuras urbanas existentes.

Este componente está conformado por los siguientes criterios:

1. Renovación urbana
2. Ciudad construida

Tabla 7 Criterios del Componente Urbano – Paisajístico y sus respectivos pesos

| Componente            | Criterio             | Peso |
|-----------------------|----------------------|------|
| Urbano – Paisajístico | 1. Renovación urbana | 60%  |
|                       | 2. Ciudad construida | 40%  |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

#### 4.1.4. Criterios a desarrollar en el Componente 4 – Afectación Social

El cuarto componente incluido en la matriz multicriterio es afectación social, se determina con el fin de evaluar la afectación a las comunidades y territorio, así mismo se incluyen los criterios relacionados con el componente de arqueología y afectación predial.

1. Afectación a las comunidades y territorio
2. Afectación a sitios arqueológicos
3. Afectación predial

*Tabla 8 Criterios del Componente Afectación Social y sus respectivos pesos*

| Componente         | Criterio                                      | Peso |
|--------------------|---|------|
| Afectación Social. | 1. Afectación a las comunidades y territorio. | 50%  |
|                    | 2. Afectación a sitios arqueológicos          | 20%  |
|                    | 3. Afectación predial                         | 30%  |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

#### **4.1.5. Criterios a desarrollar en el Componente 5 – Beneficios Sociales por Mejoras en Transporte**

El quinto componente a evaluar, que tiene como objeto cuantificar la demanda de transporte en cada tipo de implantación sobre la alternativa de trazado.

Para evaluar dichos beneficios, en este componente define el siguiente criterio:

1. Mejoras de transporte

*Tabla 9 Criterios del Componente Beneficios sociales por mejoras en transporte y sus respectivos pesos*

| Componente                                    | Criterio                 | Peso |
|---|--------------------------|------|
| Beneficios Sociales por Mejoras en Transporte | 1. Mejoras de transporte | 100% |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

#### **4.1.6. Criterios a desarrollar en el Componente 6 – Financiero**

El sexto componente a evaluar es el financiero, que tiene como finalidad establecer un costo de inversión que permita conocer a la nación y el distrito el monto total necesario para el desarrollo de las diferentes propuestas de implantación sobre la alternativa de trazado para el presente proyecto.

El criterio definido en este componente es el siguiente:

1. Costos

*Tabla 10 Criterios del Componente Costos y su peso*

| Componente  | Criterio         | Peso |
|-------------|------------------|------|
| Financiero. | Costos           | 50%  |
|             | Costos unitarios | 50%  |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

#### 4.1.7. Criterios a desarrollar en el Componente 7 – Riesgo

El séptimo componente es referente al riesgo, el cual se relaciona con la complejidad o la facilidad para llevar a cabo los trabajos de geotecnia y las posibles afectaciones que dichos trabajos puedan causar al entorno, en función de la infraestructura existente, los cauces naturales a atravesar y los tipos de materiales presentes.

Para este, se define un único criterio:

1. Riesgo geotécnico

*Tabla 11 Criterios del Componente Riesgos y sus respectivos pesos*

| Componente | Criterio           | Peso |
|------------|--------------------|------|
| Riesgo.    | Riesgo geotécnico. | 100% |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

## 5. DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN POR OBJETIVO

En este acápite, se describen detalladamente los indicadores propuestos para cada criterio de la matriz multicriterio, para medir el desempeño de las propuestas de implantación sobre la alternativa de trazado frente a los objetivos definidos en cada componente de análisis. Para ello, se procede a describir los ítems que conforman cada indicador, siendo estos: objetivo, variables del indicador (entradas), metodología de cálculo, unidad de medición, naturaleza, visualización y calificación.

Análogamente, es importante que los indicadores que están definidos para la matriz arrojen resultados diferenciales entre las propuestas de implantación sobre la alternativa de trazado, de tal forma que se pueda evidenciar cuál es la que resulta de mejor desempeño.

## 5.1. Indicadores Componente 1 – Afectación Ambiental:

Los indicadores para cada criterio del componente afectación ambiental son los siguientes:

### 5.1.1. Indicador No. 1:

**Indicador:** Zonas verdes endurecidas

**Objetivo:** Identificar las áreas de intervención de cada tipo de implantación sobre la alternativa, que se traslapan con las zonas verdes presentes en las jurisdicciones de Bogotá y Soacha.

**Variables del indicador (Entradas):** Cartografía de Bogotá “Zonas verdes” obtenida en datos abiertos Bogotá – IDECA y POT de Soacha

**Metodología de cálculo:** Se define el área de intervención de cada tipo de implantación sobre la alternativa de trazado, posteriormente se traslapa con el área de las zonas verdes obtenidas de los POTs de Bogotá y Soacha. La información de zonas verdes en los corredores seleccionados fue obtenida en datos abiertos Bogotá – IDECA y la información de los Instrumentos de Ordenamiento Territorial de Bogotá y el municipio de Soacha.

**Unidad de medición:** Área de traslape en hectáreas (Ha)

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** Mapas y áreas interceptadas en cada tipo de implantación con las zonas verdes.

**Calificación:** El tipo de implantación que tenga menor área de interceptación con zonas verdes es la que resulta con mejor puntuación.

### 5.1.2. Indicador No. 2:

**Indicador:** Cruces con cuerpos de agua (lenticos y loticos)

**Objetivo:** Identificar el cruce de fuentes hídricas en cada tipo de implantación.

**Variables del indicador (Entradas):** Cartografía de Bogotá “Cuerpo de agua de ambiente y desarrollo” obtenida en datos abiertos Bogotá – IDECA, el Instrumento de Ordenamiento Territorial del municipio de Soacha y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.

**Metodología de cálculo:** El indicador se calcula teniendo en cuenta la cantidad de cuerpos de agua que se interceptan en cada tipo de implantación en el área de influencia directa.

Para identificar la cantidad o el número de cuerpos Lóticos y Lénticos que tienen interferencia directa según el tipo de implantación, se implementa la cartografía local y nacional a escala 1:25.000 dispuesta por el Distrito de Bogotá, IGAC y secretaria de planeación de Soacha y se lleva a cabo el cruce con el área de influencia directa para la obtención del indicador.

**Unidad de medición:** Unidades de cuerpos de agua interferidos (UN)

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** Mapa y cantidad de cuerpos de agua interceptados.

**Calificación:** El tipo de implantación que intercepte el menor número de cuerpos de agua es la que resulta con mejor puntuación.

### 5.1.3. Indicador No. 3:

**Indicador:** Generación volumétrica de residuos

**Objetivo:** Identificar el volumen de residuos que se generan según el tipo de implantación

**Variables del indicador (Entradas):** Diseño de cada tipo de implantación.

**Metodología de cálculo:** Para el cálculo del indicador, se lleva a cabo la identificación de la tipología sobre la alternativa y posteriormente a partir de los diseños se obtuvo el volumen del material de excavación que se generaría en cada una de ellas.

Para la tipología subterránea, se tuvo en cuenta la longitud y la sección transversal y el volumen a excavar para la construcción de las estaciones.

Para la tipología elevada, se hizo un cálculo promedio de la cantidad de pilas a lo largo de la alternativa, y se extrajo el volumen necesario para instalar las zapatas de las pilas, los pilotes a 30 metros de profundidad y la cimentación de los edificios de las estaciones.

A partir de lo anterior, se obtiene el volumen a partir de la longitud del corredor y sección transversal. Adicionalmente se tuvo en cuenta los volúmenes de retiro de las estaciones, galerías y trincheras.

**Unidad de medición:** Volumen m<sup>3</sup>



**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** Diseño Geométrico para cada tipo de implantación.

**Calificación:** El tipo de implantación que tenga menor generación de volumen de residuos es la que resulta con mejor puntuación.

*Tabla 12 Indicadores del Componente Afectación Ambiental, y sus respectivos pesos*

| Componente           | Criterio   | Indicador  | Peso Indicador |
|----------------------|--|--|----------------|
| Afectación Ambiental | Afectación a zonas verdes y cruce de cuerpos de agua | Zonas verdes endurecidas (áreas verdes endurecidas).           | 30%            |
|                      |  | Cruces con cuerpos de agua (lenticos y loticos)                | 30%            |
|                      | Generación de RCD                                    | Volumen de generación de residuos de construcción y demolición | 40%            |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

## 5.2. Indicadores Componente 2 – Proceso Constructivo:

### 5.2.1. Indicador No.1:

**Indicador:** Tiempo total de construcción

**Objetivo:** Calcular, sin optimizaciones de cronograma, el tiempo de construcción para cada tipología.

**VARIABLES DEL INDICADOR (ENTRADAS):**

- Longitud del trazado según su tipología
- Cantidad de estaciones según su tipología
- Túnel: El túnel se realiza con tuneladora. El rendimiento es de 300ml/mes, cifra usada para la L2 de Metro de Bogotá. Las condiciones geológicas no son tomadas en cuenta, pues no se disponen de estudios detallados sobre la geología precisa. Se tomará una sola tuneladora para los tramos de línea. En el plazo global se ha integrado el plazo del paso del túnel en las estaciones.
- Viaducto: Se usará un rendimiento de 350 ml/mes, cifra usada para la L2 de Metro de Bogotá, considerando que todo el trazado va al mismo nivel de 15 m a cota riel.

- Estación elevada: El plazo considerado para la realización de una estación es de 12 meses. Se considera que 6 estaciones estarán en obras simultáneamente, cifra usada para la L2 de Metro de Bogotá
- Estaciones subterráneas: El plazo total retenido para la estación es de 18 meses. Se consideran que se realizan 7 estaciones simultáneamente.
- Para la tipología mixta, que tiene tramos únicamente elevados y subterráneos se desarrollan al mismo tiempo en frentes de obras diferentes. La tipología de estos tramos será indicada de manera puntual, para establecer el tiempo de construcción.

**Metodología de cálculo:** Se calcula la longitud total del trazado para cada tipología (subterráneo y elevado) y, para la mixta se calcula la longitud de los tramos subterráneos y elevados, así mismo se tiene en cuenta la cantidad de estaciones para cada tipología, considerando que para todas es igual, más, sin embargo, en la mixta se identifica la cantidad que van subterráneas y elevadas. Posteriormente, se procede a calcular el tiempo del método de construcción y estaciones de acuerdo con los rendimientos tomados como base y la sumatoria será el tiempo total de construcción.

El tiempo total de construcción para cada tipología se calcula considerando que los rendimientos son igual para todas, ya que no se tienen en cuenta particularidades que ameritan un detalle mayor que se pueda presentar durante la ejecución en cada una.

**Unidad de medición:** Meses

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** Tabla de Excel

**Calificación:** El tipo de implantación que presente el menor tiempo de construcción obtiene la mejor puntuación.

### 5.2.2. Indicador No.2:

**Indicador:** Generación de ruido por la construcción del sistema

**Objetivo:** Comparar los niveles de presión sonora que se pueden generar por la construcción del proyecto, para determinar el tipo de implantación de menor impacto por su generación

**Variables del indicador (Entradas):** Información desarrollada para la evaluación y estructuración de la PLMB, en especial el documento PLMB-SYS-DOC-TOD-0300-0C y ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL (EIAS).

**Metodología de cálculo:** Para estimar este impacto, se tiene en cuenta los valores obtenidos en las proyecciones de ruido realizadas en anteriores estudios para la PLMB, tanto subterráneo como elevado, tomando los valores máximos en cada caso, teniendo en cuenta el nivel de información del presente estudio. Para el cálculo se tiene en cuenta el nivel de los decibeles que se podrían generar para cada tipología y se multiplica por la longitud del trazado según el tipo de implantación y se divide por el valor total del trazado para la obtención del valor relativo de la intensidad de decibeles que se generaría.

**Unidad de medición:** Niveles de presión sonora en decibeles (dB)

**Naturaleza:** Indicador cuantitativo

**Visualización:** Valores obtenidos en las proyecciones de ruido realizadas en anteriores estudios

**Calificación:** El tipo de implantación que registre el menor nivel promedio será la que mejor calificación registre dentro del análisis.

### 5.2.3. Indicador No.3:

**Indicador:** Interferencias con redes principales

**Objetivo:** Identificar y cuantificar la longitud de redes (según tipología y operador) que puedan presentar interferencia con la construcción y/u operación del proyecto para cada alternativa presentada.

**Variables del indicador (Entradas):** Redes de servicios públicos: este tipo de redes se subdividen en dos tipos: Redes Húmedas (hidrosanitarias) y secas, las cuales tienen la siguiente distribución:

- Redes Húmedas y/o hidrosanitarias:
  - ✓ Alcantarillado Sanitario Combinado: Sumidero Sanitario Combinado, Pozos Sanitario Combinado, Estructura de Red Sanitario Combinado, Caja Domiciliaria Sanitario Combinado, Línea Lateral Sanitario Combinado, Red Troncal Sanitario Combinado y Red Local Sanitario Combinado.

- ✓ Alcantarillado Pluvial: Pozo Pluvial, Caja Domiciliaria Pluvial, Estructura de Red Pluvial, Sumidero, Línea Lateral Pluvial, Red Troncal Pluvial y Red Local Pluvial.
- ✓ Acueducto: Válvula Control, Hidrante, Pila Muestreo, Macromedidor Caudal, Válvula Sistema, Accesorios, Cámara Acceso, Pitometro, Red Matriz, Red Menor y Línea Lateral.

- Redes Secas (Eléctricas, Gas y Telecomunicaciones)

Redes eléctricas de alta, media y baja tensión, con sus respectivos apoyos (torre o poste), transformadores, redes de telecomunicaciones ya sean coaxiales o fibra óptica, y redes de tubería de gas.

La información secundaria utilizada para las redes húmedas proviene de la información recopilada en entidades como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Corporación Autónoma Regional (CAR) de Cundinamarca, la Alcaldía municipal de Soacha, Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital, IDECA entre otras.

Para el tema de las redes secas, la información utilizada proviene de las empresas de servicios públicos ETB, Movistar, Codensa, Vanti, la Alcaldía municipal de Soacha, Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital, IDECA entre otras.

**Metodología de cálculo:** Para cada tipo de red de servicio público, se obtuvo un área de influencia directa (AID), la cual se define como el polígono donde se manifestarán los impactos directos de una actividad; que en este caso será una actividad de orden ferroviario para un posible transporte de pasajeros. Estos impactos serán tanto en la fase constructiva como en la operación del posible sistema ferroviario.

Por otro lado, se tiene que el área de influencia indirecta está determinada por los posibles impactos secundarios a manifestarse fuera de los límites del área de influencia directa. En este sentido, para el presente nivel de prefactibilidad o también conocido como Fase I (Ingeniería conceptual), se propuso un ancho de polígono y/o Buffer (costado derecho e izquierdo del eje) de:

- Redes húmedas: 25 m (línea férrea)
- Redes secas: 15 m (línea férrea) – 25 m (estaciones)

Resaltando que el buffer propuesto para cada tipología absorbe la influencia directa de una posible operación y construcción del ancho de trocha, plataforma de material rodante, aparcaderos, intercambiadores, drenaje longitudinal, zona de seguridad, bordillos, cerramiento, catenaria, protecciones, señalización y otros componentes férreos que puede ocupar una tecnología de Metro Pesado, exceptuando las áreas de patio talleres, cuya área



de influencia directa dependerá de la arquitectura final de la fase de factibilidad y diseño detallado que no se presenta en este documento; resaltando que a nivel de prefactibilidad se analizaron los polígonos establecidos para estaciones y zonas aledañas.

Así mismo se resalta que una tipología de Metro tiene un ancho de plataforma de operación en zona suburbana inferior a los 15 m de ancho y en zona urbana inferior o igual 10 m, de acuerdo con las normativas internacionales como ADIF, y lo mencionado por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC).

Por otro lado, se debe resaltar que de acuerdo con la tipología del trazado férreo (subterráneo - elevado - mixta), el factor de complejidad puede disminuir o aumentar, dado que si se tiene una alternativa subterránea el nivel de afectación disminuye considerablemente, pero no significa que no se tengan presente actividades como por ejemplo control y monitoreo de cotas claves en redes matrices y troncales que garanticen que la construcción del túnel no este generando asentamientos, aunque en los tramos subterráneos no tengan interferencias directas con una red hidrosanitaria (acueducto - alcantarillado) todas las redes que se encuentren por encima del portal de un posible túnel tiene que tener un constante monitoreo. Por tal razón, el factor de complejidad para la tipología subterránea en redes húmedas no es igual a cero.

Para el caso de redes secas eléctricas, el factor de complejidad para la tipología férrea elevada o a nivel es igual a 1 donde todas las redes deben reubicarse y/o aumentar su nivel mediante postería o reubicación.

A continuación, se presentan los factores de complejidad implementados para cada tipo de red.

Tabla 13 Factor Complejidad para redes secas y húmedas

| Tipo de red                                  | Tipología Férrea |                         |        |
|--|------------------|-------------------------|--------|
|  | Elevado          | Soterrado / subterráneo | Mixta* |
| Red de Acueducto Local / Matriz              | 1                | 0.7                     | 1      |
| Red de Alcantarillado Sanitario Local/Matriz | 1                | 0.7                     | 1      |
| Red de Alcantarillado Pluvial Local/Matriz   | 1                | 0.7                     | 1      |
| Red eléctrica de Alta tensión                | 1.5              | 1                       | 1.5    |
| Red eléctrica de media tensión               | 1                | 0.7                     | 1      |
| Red de gas y/o hidrocarburos                 | 1                | 0.7                     | 1      |
| Red de Telecomunicaciones                    | 1                | 0.7                     | 1      |

\*Combinación de tipología férrea elevada y subterránea

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

**Unidad de medición:** Metros lineales de redes principales posiblemente interferidas.

**Naturaleza:** Indicador Cuantitativo

**Visualización:** Cuantificación de la longitud de los tramos de redes interceptadas con los corredores de afectación de cada alternativa.

**Calificación:** El tipo de implantación que arroje menos cantidad de metros lineales de redes principales interferidas, es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador.

#### 5.2.4. Indicador No.4:

**Indicador:** Longitud de tramo de vía de influencia de cimentación profunda

**Objetivo:** Calcular la longitud transversal de las infraestructuras con cimentaciones profundas que están dentro del área de influencia del trazado según la tipología

**Variables del indicador (Entradas):**

- Para la subterránea, buffer de 20 m
- Para la elevada, buffer de 5 m
- Para la mixta, buffer de 20m y 5m dependiendo si el tramo es subterráneo o elevado

**Metodología de cálculo:** Para cada tipología se define un buffer, de acuerdo con la distancia en la cual se considera que el paso de la vía puede ejercer una influencia directa sobre las cimentaciones circundantes. Para la subterránea se define un buffer de 20 metros, lo que equivale a dos veces el radio que podría tener la excavación para el túnel, considerando una zona de influencia más allá de la excavación, igual al radio y, para la elevada se define un buffer de 5 metros, dado que la influencia de las cimentaciones sólo se da en los puntos de apoyo, y se considera una distancia que abarque los posibles anchos de los cabezales de los pilotes.

Posteriormente, se suma la longitud transversal que traslapa con edificios e infraestructuras específicamente en estos puntos críticos: la estación Metro Calle 26 y la estación 7 (Av Primera de mayo con Av 68) de la Línea 1 del Metro de Bogotá, el centro comercial Mall Plaza, el Viaducto que atraviesa la NQS de Regiotram de Occidente y puente vehicular Rio Tunjuelo sobre Av Bosa, que se conoce que existen cimentaciones profundas y que se verían afectadas en diferente proporción dependiendo del buffer para cada tipología.

**Unidad de medición:** Longitud transversal (metros).

**Naturaleza:** Indicador cuantitativo

**Visualización:** Archivo de Excel.

**Calificación:** El tipo de implantación que arroje menos cantidad de metros lineales es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador.

#### 5.2.5. Indicador No.5:

**Indicador:** Restricciones afectación al tráfico vehicular y peatonal

**Objetivo:** Identificar las zonas que se verían afectadas en el tráfico vehicular y peatonal por la construcción de la vía férrea y estaciones según la tipología.

#### Variables del indicador (Entradas):

Se consideraron las siguientes variables en las 3 tipologías para determinar la afectación al tráfico vehicular y peatonal:

- Ciclorruta afectada
- Tráfico peatonal
- Estaciones
- Viaducto
- Obras en superficie (edificaciones, zonas verdes)

**Metodología de cálculo:** Para cada variable se determina la longitud de vía afectada por afectada por la construcción de las estructuras (viaducto y túnel) y estaciones, específicamente en los siguientes puntos que se consideran que generan mayor impacto: zona de inicio, en las transiciones (viaducto-túnel) y en los puntos que intercepta con otros proyectos, zona de fin. La sumatoria de los metros de cada variable corresponde a la afectación para cada tipología.

**Unidad de medición:** Metros

**Naturaleza:** Indicador Cuantitativo

**Visualización:** Archivo en Excel

**Calificación:** El tipo de implantación que arroje menos cantidad de metros lineales es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador.



|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <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> |  |
|---|---|---|

Tabla 14 Indicadores del Componente Proceso Constructivo, y sus respectivos pesos

| Componente            | Criterio              | Indicador   | Peso Indicador |
|-----------------------|-----------------------|---|----------------|
| Proceso Constructivo. | Rendimiento           | Tiempo total de construcción  | 29%            |
|                       | Ruido                 | Generación de ruido por la construcción del sistema   | 19%            |
|                       | Redes                 | Interferencias con redes principales (húmedas y secas)  | 22%            |
|                       | Puntos condicionantes | Longitud de tramo de vía en influencia de cimentación profunda                                    | 15%            |
|                       |                       | Restricciones afectación al tráfico vehicular y peatonal -Estaciones, Viaducto-obra en superficie | 15%            |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

### 5.3. Indicadores Componente 3 – Urbano - Paisajístico:

#### 5.3.1. Indicador No.1:

**Indicador:** Potencial de generación de espacio público para circulación conexión

**Objetivo:** identificar las zonas de espacio público que se generan para circulación conexión por la inserción urbana del proyecto.

#### Variables del indicador (Entradas):

- Información de diseño geométrico según su tipología y ubicación de estaciones.
- Capas de las GDB oficiales de Bogotá y el Municipio de Soacha (parques, andenes, calzadas y sistema vial)
- Buffer de 500 metros del polígono tentativo de la ubicación de las estaciones (DOTS\_ anexo Técnico) y en el caso de la tipología elevada 100 metros del eje del viaducto en los puntos adicionales a los 500 metros que abarcan las estaciones.

**Metodología de cálculo:** La inserción urbana del trazado y el diseño conceptual de estaciones trae como consecuencia, la generación de afectaciones prediales. Con base en estas afectaciones, se crea la oportunidad de generar nuevos espacios públicos, localizados en todos los casos en la primera manzana adyacente al sistema, que son medidos en superficie. La generación de espacios públicos se da considerando los siguientes casos tipo:

- Espacio público generado a partir de las afectaciones prediales generadas por la inserción urbana del trazado (tipología elevada, subterránea y mixta), en los



casos en los que las manzanas afectadas son de tamaño pequeño, o los predios remanentes de la manzana después de la afectación son pocos. Este caso se presenta en especial en los tramos en los que el trazado debe cambiar de dirección y se generan curvas amplias, que afectan predialmente las manzanas localizadas en la intersección. Se propone que estos espacios de manzanas se conviertan en espacio público, en especial en los sectores con mayor densidad poblacional y menor oferta de espacios públicos.

- Conectividad del espacio público para la circulación conexión para la movilidad cicloinclusiva y peatonal con el espacio público efectivo (parques, plazas y plazoletas), la estructura ecológica principal y con los nodos de los corredores de transporte de alta capacidad proyectados y existentes.

**Unidad de medición:** Hectáreas (Ha) de espacio público para circulación conexión

**Naturaleza:** Indicador Cuantitativo

**Visualización:** A través del plano en planta de inserción del trazado y un polígono que indica el área calculada.

**Calificación:** El tipo de implantación que arroje una mayor superficie potencial de espacio público es la que resulta con mejor puntuación.

### 5.3.2. Indicador No.2:

**Indicador:** Afectación de los bienes de patrimonio material con interés cultural mueble, arquitectónico y /o urbanístico en los tres niveles de declaratoria Nacional, Municipal y/o Distrital.

**Objetivo:** Incidencia en los bienes materiales de interés cultural mueble, arquitectónico y/o urbanístico que se relacionen con el trazado del nuevo sistema (área afectada y zona de influencia) para precisar las acciones de protección de carácter preventivo y/o correctivo que sean necesarias para la conservación de los bienes.

**Variables del indicador (Entradas):** Afectaciones cuantificables del Patrimonio Cultural material sobre el corredor férreo.

**Metodología de cálculo:** En el ámbito de influencia del trazado se calcula la cantidad de elementos PC material mueble, arquitectónico y/o urbanístico que hacen presencia en la futura operación férrea de acuerdo con el inventario del trabajo de campo y la cartografía en el Tratamiento de Conservación del POT vigente y/o en formulación, como con la cartografía nacional y municipal de los BIC material.

El Tratamiento de Conservación tiene por objetivo proteger el patrimonio construido de la ciudad, para asegurar su preservación involucrándolo a las exigencias de desarrollo urbano,

mientras que el Tratamiento de Consolidación, regula la transformación de las estructuras urbanas de la ciudad desarrollada, garantizando coherencia entre la intensidad de uso del suelo y el sistema de espacio público existente o planeado (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2004).

**Unidad de medición:** Número de elementos del PC material - BIC afectados

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** A través de un mapa de cruce de información y un polígono que indica la localización de los BIC y su zona de influencia.

**Calificación:** El tipo de implantación que arroje la menor cantidad de afectación de bienes con interés mueble, arquitectónico y/o urbanístico por estaciones y trazado, es la que resulta mejor puntada en este indicador.

### 5.3.3. Indicador No.3:

**Indicador:** Impacto visual

**Objetivo** Valorar el impacto visual y de área libre ocupada de los nuevos elementos de infraestructura.

**Variables del indicador (Entradas):** Impacto visual a partir del diseño urbano conceptual de inserción del trazado y las estaciones por cada tipología.

**Metodología de cálculo:** A partir de la división del espacio, entre área construida y área libre, se calcula la proporción en porcentaje de estos sobre el área analizada. Este indicador arroja el impacto de una nueva construcción sobre el espacio urbano existente.

Para lo anterior, se mide en sección la proporción de área construida sobre área libre tanto para estaciones, cómo en tramos homogéneos, de la infraestructura férrea del transporte masivo de pasajeros.

En los casos en los que la tipología de inserción del sistema de transporte es subterránea, no se considera esta proporción. Únicamente aplica en tramos elevados o a nivel dado que son los que generarían un cambio a nivel visual y una diferencia entre el entorno construido y libre.

La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de este indicador:



**Unidad de medición:** % de área construida sobre área libre

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** A través de una ilustración con el buffer del área analizada

**Calificación:** El tipo de implantación que arroje una menor proporción de área construida sobre área libre es la que resulta mejor puntuada en este indicador.

Tabla 15 Indicadores del Componente Urbano-Paisajístico y sus respectivos pesos

| Componente          | Criterio          | Indicador  | Peso Indicador |
|---------------------|-------------------|--|----------------|
| Urbano-Paisajístico | Renovación urbana | Potencial de generación de espacio público para circulación-conexión | 60%            |
|                     | Ciudad Construida | Afectación a Bienes de Interés Cultural                              | 20%            |
|                     |                   | Impacto visual por infraestructura                                   | 20%            |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

#### 5.4. Indicadores Componente 4 – Afectación Social:

##### 5.4.1. Indicador No.1:

**Indicador:** Afectación a la infraestructura o equipamiento social.

**Objetivo:** Identificar los equipamientos educativos, sociales, recreativos, de salud y de culto que serán afectados por las diferentes alternativas estudiadas.

**Variables del indicador (Entradas):** Cartografía de Bogotá obtenida en datos abiertos Bogotá – sitios de interés del decreto 555 del 2021 y POT de Soacha.

**Metodología de cálculo:** Para generar una mayor precisión en el análisis e identificación de las afectaciones sociales, se delimitó el área de influencia utilizando los diseños geométricos definidos para las diferentes alternativas.

Se analizaron las zonas identificadas preliminarmente que pueden ser objeto de compra o de afectación. Por lo tanto, estará generando afectaciones en los diferentes equipamientos que prestan servicios a las comunidades, alterando o modificando los relacionamientos interpersonales y con el territorio.

**Unidad de medición:** Cantidad de equipamientos existentes.

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** Mapas de interceptaciones con los equipamientos en cada tipo de implantación.

**Calificación:** El tipo de implantación que tenga menor cantidad de interceptación con equipamientos es la que resulta con mejor puntuación.

#### 5.4.2. Indicador No.2:

**Indicador:** Afectación de zonas con presencia de sitios arqueológicos y segmentos del Corredor Férreo del Sur.

**Objetivo:** Identificar y evaluar los impactos sociales que se presentan sobre las Zonas con potencial arqueológico alto, medio y bajo para cada tipología (subterráneo, elevado y mixto) de la alternativa seleccionada.

**Variables del indicador (Entradas):**

- Información de ubicación espacial de sitios o puntos de hallazgo arqueológico tanto de Bogotá como de Soacha.
- Información secundaria en donde se reporten puntos de hallazgo arqueológico en inmediaciones del corredor.
- Trazado del antiguo corredor férreo del Sur.



**Metodología de cálculo:** Para el cálculo del indicador se hizo énfasis en la presencia de sitios o puntos de hallazgo arqueológico en cercanías al trazado de la alternativa seleccionada. Asimismo, se tuvo en cuenta la presencia del antiguo corredor férreo del sur.

Para determinar áreas de potencial alto, únicamente se tiene presente en la tipología elevada en cercanías del antiguo corredor férreo del Sur por la intervención de más espacio en superficie en la construcción de las estaciones. Por otro lado, el potencial medio se estableció para todas las áreas de las futuras estaciones proyectadas para las 3 tipologías. El resto de trazado en las diferentes tipologías se determina como potencial bajo teniendo en cuenta que no existen sitios de hallazgo arqueológico en menos de 300 m del trazado.

Las diferentes áreas de la zonificación se calificaron en términos del potencial arqueológico (alto, medio y bajo), y la sumatoria en kilómetros lineales corresponde al potencial arqueológico para cada tipología.

**Unidad de medición:** Potencial arqueológico en Km

**Naturaleza:** Cuantitativo

**Visualización:** Ilustración con la identificación del potencial arqueológico (alto, medio y bajo) y puntos de hallazgo arqueológico.

**Calificación:** El tipo de implantación que tenga menor potencial arqueológico en km es la que resulta con mejor puntuación



#### 5.4.3. Indicador No.3:

**Indicador:** Identificación de predios afectados.

**Objetivo:** Identificar la cantidad de predios afectados, que deben ser adquiridos, por cada alternativa de trazado.

**Variables del indicador (Entradas):**

- Información de bases catastrales de Bogotá y Soacha.
- Buffer 50 metros
- Bases de mapas de Bogotá y ZGE Catastrales

|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <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> |  |
|---|---|---|

**Metodología de cálculo:** El indicador se calcula teniendo en cuenta las bases catastrales tanto de Bogotá como de Soacha, y se realizar el conteo de predios objeto de intervención en el área de influencia definida.

**Unidad de medición:** Predios

**Naturaleza:** Indicador Cuantitativo

**Calificación:** El tipo de implantación que registre el menor número de predios afectados a adquirir, será la que mejor calificación registre dentro del análisis.

Tabla 16 Indicadores del Componente Afectación Social y sus respectivos pesos

| Componente          | Criterio                                   | Indicador   | Peso Indicador |
|---------------------|--|---|----------------|
| Urbano-Paisajístico | Afectación a las comunidades y territorio. | Afectación a la infraestructura o equipamiento social: recreativa, hospitales, centros educativos, centros de salud, centros religiosos, organizaciones sociales y a las manifestaciones culturales de los entornos barriales | 50%            |
|                     | Afectación a sitios arqueológicos          | Afectación de zonas con presencia de sitios arqueológicos y segmentos del corredor férreo del Sur   | 20%            |
|                     | Afectación predial                         | Identificación de predios afectados   | 30%            |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

## 5.5. Indicadores Componente 5 – Beneficios Sociales por Mejoras en transporte

### 5.5.1. Indicador No.1:

**Indicador:** Pasajeros transportados

**Objetivo:** Medir la demanda capturada en Bogotá y Soacha, por cada alternativa propuesta

**Variables del indicador (Entradas):** Vectores de población y usos de suelo, oferta de transporte público y privado.

**Metodología de cálculo:** Se calculan los pasajeros transportados por el proyecto en la HPAM durante los 20 años de análisis para las ofertas y cortes temporales definidos. Para esto, para los dos valores de cada prospectiva (2035 y 2055) se hace una interpolación para estimar los pasajeros en hora pico para cada año y después se divide entre 20 para

obtener el promedio anual de pasajeros adicionales en la hora pico AM. A continuación, se muestra la formulación para el cálculo del indicador.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Pax_{A-T i})}{20 \text{ años}}$$

Donde:

- n es el número de años de análisis
- $Pax_{A-T i}$  es el número total de viajes de la alternativa en el año i

**Unidad de medición:** Pasajeros/HPAM

**Naturaleza:** Indicador Cuantitativo

**Visualización:** Gráficos de barras que representen la cantidad estimada.

**Calificación:** El tipo de implantación con mayor cantidad de pasajeros obtiene un mayor puntaje.

Tabla 17 Indicadores del Componente Beneficios Sociales por Mejoras en Transporte, y sus respectivos pesos

| Componente                                    | Criterio              | Indicador               | Peso Indicador |
|---|-----------------------|-------------------------|----------------|
| Beneficios Sociales por Mejoras en Transporte | Mejoras de transporte | Pasajeros transportados | 100%           |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

## 5.6. Indicadores Componente 6 - Financiero:

### 5.6.1. Indicador No.1:

**Indicador:** Costos de inversión total, incluidos los costos de gestión predial (adquisición y gestión)

**Objetivo:** Determinar el costo total de cada una de las tipologías planteadas, para la presente etapa, expresados precios constantes 2022.

**Variables del indicador (Entradas):** Se toman como referencia para establecer indicadores de costos los siguientes documentos:

- Estructuración técnica de 1 de la primera línea del metro de la Ciudad Bogotá.
- Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la primera línea de Bogotá.
- Resumen Ejecutivo Primera Línea Metro de Bogotá -Bogotá Humana (L1)
- Estructuración de la Segunda Línea del Metro de Bogotá
- Estructuración Regiotram de Occidente
- Costos de predios evaluados por la EMB.

**Metodología de cálculo:** Se creó un presupuesto basado en los indicadores de las actividades propias de obra, sistemas férreos y se complementan con valores de AIU, interventoría, global en predios, social, plan de manejo de tránsito y, estudios y diseños, y se dividió por la longitud total de la alternativa.

**Unidad de medición:** Inversión total (incluye predios) en pesos colombianos - COP

**Naturaleza:** Indicador cuantitativo

**Visualización:** Archivo de Excel, con toda la información contenida. Se presenta en el *Anexo 2 – Componente financiero*.

**Calificación:** El tipo de implantación que registre el menor costo será la que mejor calificación registre dentro del análisis.

### 5.6.2. Indicador No.2:

**Indicador:** Costos de operación y mantenimiento

**Objetivo:** Determinar costos de operación y mantenimiento anual de cada una de las tipologías planteadas, expresados en precios constantes 2022.

**Variables del indicador (Entradas):**

- Costos de inversión - CAPEX
- Los ítems de los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura, desglosados de la siguiente manera:



- **Costos de Operación:**
  - Consumo de Energía
  - Personal de Operaciones
  - Personal de Mantenimiento
  - Personal de Dirección
  - Personal Administrativo
- **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)

**Metodología de cálculo:** Se calcula cada ítem que conforman los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura de la siguiente manera:

- **Costos de Operación:**

- Consumo de Energía

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

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.

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

Siendo:

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

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

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

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

Ahora bien, si 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:

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

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

- Personal de Operaciones

Se determinará la cantidad de personas necesarias en el departamento de operaciones para cada tipología.

- Personal de Mantenimiento

Se determinará la cantidad de personal necesario para la ejecución del mantenimiento teniendo en consideración 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.

- Personal de Dirección y Administrativo

Se determinará la cantidad de personal necesario para el área de dirección y personal administrativo

#### • **Costos de Mantenimiento de la infraestructura:**

Para obtener el cálculo de los 4 ítems que conforman este apartado, se basa en los costos medios unitarios observados en otros sistemas de metro similares en Latinoamérica y así mismo obtener el costo relativo de la mano de obra. Y, para obtener el costo del material rodante se ha basado en experiencia con sistemas de metro similares en Europa.

A los costos de inversión - CAPEX se deberá añadir un porcentaje de estimación por encima del valor calculado que será añadido de manera puntual a cada uno de los ítems.

**Unidad de medición:** Costo anual - COP

**Naturaleza:** Indicador cuantitativo

**Visualización:** Archivo de Excel, con toda la información contenida. Se presenta en el *Anexo 2 – Componente financiero*.

**Calificación:** El tipo de implantación que registre el menor costo anual será la que mejor calificación registre dentro del análisis.

### 5.6.3. Indicador No.3:

**Indicador:** Costos de inversión por estación.

**Objetivo:** Determinar el costo promedio unitario de estaciones según la tipología, expresados en precios constantes 2022.

**Variables del indicador (Entradas):**

- Costo total de las estaciones de cada tipología
- Cantidad de estaciones: 18 para las 3 tipologías.

**Metodología de cálculo:** El costo total de estaciones para cada tipología se divide por la cantidad de estaciones.

$$\text{Costo por estación} = \frac{\text{Costo total de estaciones}}{18}$$

**Unidad de medición:** COP/Estación

**Naturaleza:** Indicador cuantitativo

**Visualización:** Archivo de Excel

**Calificación:** El tipo de implantación que registre el menor costo promedio por estación será la que mejor calificación registre dentro del análisis.

### 5.6.4. Indicador No.4:

**Indicador:** Costos de inversión por km

**Objetivo:** Determinar el costo unitario por km de línea según cada alternativa, expresados en precios constantes 2022.

**Variables del indicador (Entradas):** Se tomará el resultado del costo total de cada alternativa (Indicador 1 del Componente 6) y la longitud de cada alternativa

**Metodología de cálculo:** El costo de inversión total para cada tipología se divide por la cantidad de km de cada tipología (subterránea, elevada y mixta).

$$\text{Costo unitario por km} = \frac{\text{Costo de inversión total}}{\text{km}}$$

**Unidad de medición:** COP/km

**Naturaleza:** Indicador cuantitativo

**Visualización:** Archivo de Excel

**Calificación:** El tipo de implantación que registre el menor costo por km será la que mejor calificación registre dentro del análisis.

*Tabla 18 Indicadores del Componente Financiero, y sus respectivos pesos*

| Componente | Criterio         | Indicador  | Peso Indicador |
|------------|------------------|--|----------------|
| Financiero | Costos           | Costos de inversión total, incluidos los costos de gestión predial (adquisición y gestión) | 25%            |
|            |                  | Costo de operación y mantenimiento   | 25%            |
|            | Costos unitarios | Costos de inversión por estación   | 25%            |
|            |                  | Costos de inversión por km   | 25%            |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022*

## 5.7. Indicadores Componente 7 - Riesgos:

### 5.7.1. Indicador No. 1:

**Indicador:** Riesgo de subsidencia o afectación a estructuras

**Objetivo:** Considerar el contexto geotécnico, geológico, hidrogeológico y sísmico de cada alternativa analizando cimentaciones o propuesta de túnel según sea el caso.



**Variables del indicador (Entradas):** Unidades geológicas, zonificación geológica, geología estructural, hidrogeología, zonas de comportamiento sísmico homogéneo.

**Metodología de cálculo:** Los criterios aplicados para la evaluación de alternativas desde este componente se relacionan con la complejidad o la facilidad para llevar a cabo los trabajos de geotecnia y las posibles afectaciones que dichos trabajos puedan causar al entorno, en función de la infraestructura existente, los cauces naturales a atravesar y los tipos de materiales presentes.

Se aplicará una puntuación de acuerdo con la dificultad constructiva que implique cada uno de estos factores para los pasos elevados y subterráneos, donde 1 implica una mayor dificultad (**Menos recomendable**), y 5, representa menor dificultad (**Más recomendable**); estas puntuaciones se ponderan en función de las longitudes en las cuales, cada una de estas condiciones cobra importancia a lo largo del trazado, dividiéndolas sobre la distancia total.

Es así como, se tendrá en cuenta para la evaluación de alternativas, los siguientes factores:

- **Estructuras cercanas al corredor**

Se identifican las edificaciones existentes a lo largo del corredor, en función del número de niveles; dicha evaluación busca estimar hacia dónde se pueden encontrar cimentaciones profundas, y en donde es más probable encontrar cimentaciones superficiales, y asignar una puntuación a cada una de las alternativas en función del efecto que podrían producir sobre estas edificaciones (Subsistencia, asentamientos) y la dificultad que representa el paso por las mismas. Lo mismo se hace con los puentes, para los que se espera que cuenten con una cimentación profunda. Al analizar el trazado, se encuentra que se atraviesan zonas densamente urbanizadas, por lo tanto, esta calificación se aplica a lo largo de todo el trazado.

**Elevado (4/5):** Tienen un menor impacto e interferencias con otras cimentaciones; del mismo modo, en los tramos donde el paso elevado implica la demolición de algunas construcciones, no habrá influencia hacia dichas cimentaciones.

**Túnel (2/5):** Se asocia con posibles fenómeno de subsidencia, además de la dificultad que representa cruzar por puntos donde haya cimentaciones profundas; esto último cobra importancia en el caso de edificios altos y cimentaciones para puentes

**Mixto (2.4/5):** Se aplica este puntaje de acuerdo con la proporción del trazado que va elevado y la proporción que va subterráneo

- **Interferencias con redes.** Se incluye en el análisis, los impactos que se pueden generar por la interferencia con redes de servicios públicos, las cuales, para este análisis, se considera que se encuentran a lo largo de todo el corredor.

**Elevado (3/5):** Los apoyos pueden presentar interferencias con las redes existentes en sitios puntuales

**Túnel (4/5):** No se considera que tenga mayores problemas de interferencias con redes

**Mixto (3.7/5):** Se aplica este puntaje de acuerdo con la proporción del trazado que va elevado y la proporción que va subterráneo

- **Cruces con cuerpos hídricos**

Se analizarán los cruces con los cuerpos hídricos que se interceptan a lo largo del trazado, por ejemplo, el cruce con el Río Tunjuelo y el canal del Rio Fucha

**Elevado (2/5):** Se considera que el paso elevado puede generar una mayor afectación en las rondas hídricas, al tiempo que es posible que los apoyos queden en zonas de inundación

**Túnel (4/5):** Se considera una solución con menores problemas para el cruce de las corrientes hídricas

**Mixto (3.5/5):** De los 4 cruces con cuerpos hídricos que se presentan a lo largo del trazado, 3 son subterráneos y 1 es elevado, por lo tanto, se aplica un promedio ponderado que tenga en cuenta este cruce elevado

- **Condicionantes geológicos**

Aplica especialmente para los materiales aluviales que se encuentran a lo largo del trazado, que se asocian a la presencia de niveles freáticos altos, lo cual hace necesario que se deban controlar dichos niveles, dificultando en ciertas condiciones, la ejecución de los trabajos, lo mismo ocurre en el caso de las arcillas blandas, que pueden dificultar la ejecución de ciertas obras; de tal manera que se mide la porción de cada una de las alternativas, que atraviesa por materiales aluviales y lacustres

**Elevado (4/5):** Por presentar menor dificultad para la ejecución de las cimentaciones

**Túnel (2/5):** Se tiene en cuenta que la presencia de niveles freáticos altos puede traer problemas en la fase constructiva, del mismo modo, se tiene en consideración la dificultad de la ejecución en materiales arcillosos blandos.

**Mixto (2.4/5):** Se aplica este puntaje de acuerdo con la proporción del trazado que va elevado y la proporción que va subterráneo

- **Zonas especiales como El Apogeo y el cruce de la Av primera de mayo**

En esta zona se hace un análisis especial por la presencia del cementerio, lo cual se asocia a la presencia de lixiviados y posibles asentamientos excesivos.

**Elevado (2/5):** Tanto en el apogeo como en el cruce de la Av. Primero de Mayo, la solución elevada puede tener mayores impactos en la zona del apogeo, y se requiere un nivel muy alto en la Av primera de mayo

**Túnel (4/5):** Se considera una solución más apropiada para estos cruces, al causar un menor impacto y poder ejecutarse con mayor facilidad

**Mixto (2/5):** Se aplica el mismo puntaje que la alternativa elevada, ya que, en este trazado, se cruza por estas zonas por arriba

**Unidad de medición:** Valoración cuantitativa (calificación entre 3.0 y 5.0).

**Naturaleza:** Indicador Cualitativo

**Visualización:** Microzonificación Sísmica de Bogotá y NSR10 con la equivalencia de áreas según perfil geotécnico y según zona de Microzonificación para Soacha. Zonificación geológica y geotécnica, respuesta sísmica IDIGER. Planchas geológicas y de respuesta sísmica en equivalencia para el municipio de Soacha en tramos de interés. Son dos indicadores asociados a geotecnia o unidad geotécnica y unidad de respuesta sísmica directamente con Microzonificación y equivalente para Soacha.

**Calificación:** El tipo de implantación que se encuentre en un contexto geotécnico favorable obtendrá un mejor puntaje.

Tabla 19 Indicadores del Componente Riesgos, y sus respectivos pesos

| Componente | Criterio             | Indicador  | Peso Indicador |
|------------|----------------------|--|----------------|
| Riesgos    | 1.Riesgos geotécnico | Riesgo de subsidencia o afectación a estructuras | 100%           |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

## 6. RESULTADOS DE INDICADORES

En este acápite, se presentan los resultados; es decir, los datos numéricos que fueron obtenidos para cada uno de los indicadores, considerados como el insumo para la matriz multicriterio.

### 6.1. Componente 1 Ambiental

#### 6.1.1. Indicador 1: Zonas Verdes

El cálculo de este indicador fue realizado de acuerdo con la información obtenida del área de intervención del proyecto la cual fue definida desde diseño geométrico, posteriormente

se cruzó con las zonas verdes identificadas en el POT de Bogotá y Soacha, obteniéndose las áreas verdes afectadas por el proyecto en cada tipología.

A continuación, se presenta las áreas de afectación a zonas verdes que se encuentran dentro del área de intervención del proyecto de cada tipología que se analizan para el proyecto Corredor Férreo del Sur

Tabla 20 Áreas de Zonas Verdes

| Tipología | Área (ha) |
|-----------|-----------|
| Túnel     | 1,54      |
| Viaducto  | 43,350    |
| Mixta     | 21,332    |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se evidencia que se presenta mayor afectación a zonas verdes con la alternativa elevada con 43.350 ha.

### 6.1.2. Indicador 2: Cruce con cuerpos de agua que puedan tener afectación en su dinámica hídrica e hidráulica.

Para identificar la cantidad o el número de cuerpos Lóticos y Lénticos que tienen interferencia directa con el tipo de implantación, se implementó la cartografía local y nacional a escala 1:25.000 dispuesta por el Distrito de Bogotá, IGAC y secretaria de planeación de Soacha y se llevó a cabo el cruce con el área de intervención para la obtención del indicador. A continuación, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21 Resultados del indicador Cruce con cuerpos de agua

| Tipología | Ronda Hidráulica (m <sup>2</sup> ) | Cuerpos de Agua (m <sup>2</sup> ) | Observación  |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Túnel     | 0                                  | 0                                 | De manera subterránea no se realiza afectación a los cuerpos de agua |
| Mixto     | 100                                | 0                                 | Río Tunjuelo   |
| Elevada   | 445                                | 0                                 | Río Tunjuelo   |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2022

Es de resaltar que no se presentó afectación directa a cuerpos de agua, sin embargo, se presenta afectación a la ronda hidráulica del río Tunjuelo, donde se evidencia que la tipología elevada presenta mayor afectación a estas áreas.



### 6.1.3. Indicador 3: Generación volumétrica de residuos

Para la identificación de la generación volumétrica de residuos, se llevó a cabo el cálculo del material de excavación y remoción de las alternativas de construcción teniendo en cuenta la longitud de los tramos según su tipología (subterránea, viaducto y mixta), adicionalmente se tuvieron en cuenta los volúmenes de trincheras, accesos, estaciones, pilotes y cimentación de zapatas y los cálculos detallados se pueden observar **en el Anexo 3 - Componente afectación ambiental**.

Tabla 22 Generación volumétrica de residuos

| Tipología   | Área (m <sup>3</sup> ) |
|-------------|------------------------|
| Subterránea | 3.933.386,97           |
| Elevada     | 730.650,64             |
| Mixta       | 3.338.915,19           |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Los resultados de la tabla anterior evidencian que la tipología subterránea genera mayor volumen de residuos con 3.933.386,97 ha a diferencia de las demás tipologías. La alternativa que genera menor impacto es la tipología elevada con una afectación de 730.650,64 ha.

## 6.2. Componente 2 Proceso Constructivo

### 6.2.1. Indicador 1: Tiempo de construcción

Para el cálculo del tiempo total de construcción, se tomaron como base los rendimientos para el método constructivo y las estaciones de la prefactibilidad de la Línea 2 del Metro de Bogotá.

Tabla 23 Rendimientos método constructivo y estaciones

| RENDIMIENTO         |         |                        |                 |       |
|---------------------|---------|------------------------|-----------------|-------|
| Método constructivo | (m/mes) | Estaciones simultáneas | Consideraciones | Meses |
| Túnel               | 300     | 7 estaciones           | 1 frente        | 18    |
| Viaducto            | 350     | 6 estaciones           | 2 frentes       | 12    |
| Viaducto 3 nivel    | 230     |                        |                 |       |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Teniendo en cuenta esos rendimientos, se calcula el tiempo total estimado de construcción contemplando lo siguiente, para la tipología subterránea y elevada se calcula con base a la

longitud de cada una y la cantidad total de estaciones, es de resaltar que, para las 3 tipologías, la cantidad de estaciones es igual, y para la mixta es la sumatoria de los tramos subterráneos y elevados que esta contempla, al igual que las estaciones subterráneas y elevadas considerando según su rendimiento, tal como se relaciona en la siguiente tabla.

Tabla 24 Datos para el cálculo tiempo de construcción

| DATOS     |               |              |               |             |                 |                 |            |
|-----------|---------------|--------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|------------|
| Tipología | Longitud (Km) |              |               |             | Estaciones (Un) |                 |            |
| Túnel     | 23,122        |              |               |             | 18              |                 |            |
| Viaducto  | 24,374        |              |               |             | 18              |                 |            |
| Mixta     | 23,103        | 11,993 túnel | 4,932 elevada | 6,178 túnel | 18              | 14 subterráneas | 4 elevadas |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

El tiempo total de construcción en meses para cada tipología se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 25 Tiempo total de construcción

| Tipología | Método constructivo (meses) | Estaciones (meses) | Tiempo total de construcción (meses) |
|-----------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Túnel     | 77,07                       | 46,29              | 123,36                               |
| Viaducto  | 12,39                       | 47,74              | 60,12                                |
| Mixta     | 63,39                       | 44,00              | 107,39                               |



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 6.2.2. Indicador 2: Generación de ruido

Para la estimación del ruido generado en el área de influencia del proyecto durante la construcción, se tomó como referencia los decibeles que se emplearon en la L2MB, dependiendo la longitud de cada tramo, ya sea a mixto, elevado y subterráneo, y asimismo se obtuvo los decibeles para cada alternativa.

Tabla 26 Generación por ruido

| Tipología   | Distancia Km Subterráneo | Distancia Km Elevado | Db Subterráneo | Db Elevado | Resultados   |
|-------------|--------------------------|----------------------|----------------|------------|--------------|
| Subterránea | 23.122                   | 0,00                 | 97,51          | 0,00       | <b>97,51</b> |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p><b>Ardanuy</b><br/>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><b>ALCALDÍA MAYOR</b><br/>BOGOTÁ D.C.<br/>Instituto<br/>DESARROLLO URBANO</p> |
|--|---|--|

|         |        |        |       |       |              |
|---------|--------|--------|-------|-------|--------------|
| Elevada | 0,00   | 24.374 | 0,00  | 82,85 | <b>82,85</b> |
| Mixta   | 18.171 | 4.934  | 97,51 | 82,85 | <b>94,38</b> |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Los resultados de la tabla anterior reflejan que la tipología que genera menor ruido es la elevada seguida de la mixta. Finalmente, la tipología que genera mayor ruido es la subterránea.

### 6.2.3. Indicador 3: Interferencia con redes

Para obtener las diferentes intersecciones con las redes húmedas, se realizó un procedimiento en un sistema de información geográfica (SIG), donde se implementó la herramienta intersección. Esta herramienta de superposición calcula una intersección geométrica de dos capas y genera un nuevo shape/archivo que conserva los atributos de ambas. Es decir, en este caso para cada tipo de red mencionado se creó un buffer y fue interceptado por la infraestructura de redes (húmedas) existentes a lo largo del eje del trazado, estimando los metros lineales de las posibles afectaciones.

Una vez obtenidas las magnitudes de los tramos de redes que tienen un potencial de interferencia, se afectaron bajo un “Factor de Complejidad”. El Factor de complejidad esta dado en función del tipo de red y la posible cantidad de actividades que demande una solución técnica de ingenieril. Por ejemplo, para desplazar una red matriz de acueducto tiene un impacto mayor que mover una línea local que va sobre un andén. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de redes húmedas para cada tipología.

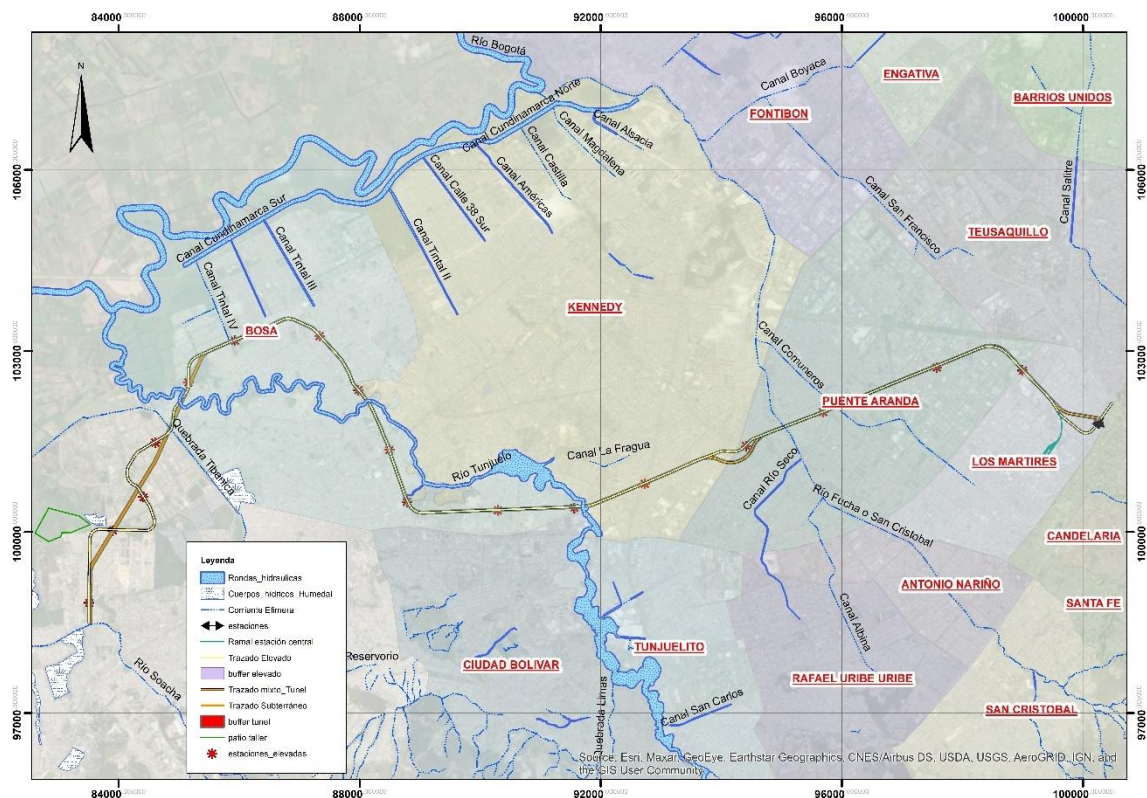
Tabla 27 Interferencia de redes húmedas

| Redes húmedas afectadas bajo la tipología de solución férrea Elevada |                       |          |                     |           |                 |
|--|-----------------------|----------|---------------------|-----------|-----------------|
| Tipo de red  | Factor de complejidad | Pluvial  | Sanitario/Combinado | Acueducto | Total           |
| Local / menor (m)  | 1                     | 14620.50 | 26893.86            | 33533.40  | 75047.76        |
| Troncal / Matriz (m)   | 1                     | 5858.45  | 3018.28             | 7872.99   | 16749.72        |
| Pozos (un)   |                       | 115.00   | 620.00              |           |                 |
| Sumideros / Accesorios (un)  |                       | 159.00   |                     | 463.00    |                 |
| <b>Total</b>   |                       |          |                     |           | <b>91797.49</b> |
| Redes húmedas afectadas bajo la tipología de solución férrea Mixta   |                       |          |                     |           |                 |
| Tipo de red  | Factor de complejidad | Pluvial  | Sanitario/Combinado | Acueducto | Total           |
| Local / menor (m)  | 1                     | 12787.52 | 23677.55            | 29958.69  | 66423.76        |
| Troncal / Matriz (m)   | 1                     | 4188.27  | 2138.48             | 7379.93   | 13706.68        |
| Pozos (un)   |                       | 110.00   | 558.00              |           |                 |
| Sumideros / Accesorios (un)  |                       | 152.00   | 0.00                | 397.00    |                 |

| Total  |                       |         |                     |           | 80130.45 |
|--|-----------------------|---------|---------------------|-----------|----------|
| Redes húmedas afectadas bajo la tipología de solución férrea Subterránea |                       |         |                     |           |          |
| Tipo de red  | Factor de complejidad | Pluvial | Sanitario/Combinado | Acueducto | Total    |
| Local / menor (m)  | 0.7                   | 8972.41 | 16581.09            | 20186.11  | 45739.61 |
| Troncal / Matriz (m)   | 0.7                   | 2953.12 | 1521.13             | 4754.69   | 9228.94  |
| Pozos (un)   |                       | 110.00  | 559.00              |           |          |
| Sumideros / Accesorios (un)  |                       | 152.00  |                     | 388.00    |          |
| Total  |                       |         |                     |           | 54968.55 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Ilustración 19 Área de influencia directa para la cuantificación de redes húmedas en las 3 tipologías



Para la cuantificación de redes secas en cada tipología (subterráneo, elevado y mixto) se realizó usando la aplicación de suma de polilíneas en AutoCAD, por lo tanto, se obtenía los valores en metros lineales de redes de cada tipo, BT, MT, AT, Gas, y así sucesivamente,



dentro de la franja estudiada, buffer de 15 metros a lado y lado en el trayecto férreo, y de 25 metros a lado y lado en la zona de las estaciones.

No se determina alguna diferencia en la cuantificación dependiendo de la altura sobre el suelo, o si es a nivel de suelo, puesto que la interferencia en el caso de redes secas es básicamente directa, por lo tanto, en esas 2 condiciones se tendrá que atender algún tipo de solución a la interferencia independiente de la ubicación del trazado. En cuanto al alineamiento subterráneo, y tomando en cuenta la profundidad de este, se determina que no existe una interferencia más allá de la ubicación de las estaciones ya que estas salen a superficie. Mas adelante se podrá aclarar con una mayor información el tema de las cimentaciones y su influencia en el trazado subterráneo, pero ya para una etapa de factibilidad, puesto que no se tiene información de la profundidad de estas cimentaciones.

Así mismo, se afectaron bajo un “Factor de Complejidad” y está dado en función del tipo de red y la posible cantidad de actividades que demande una solución técnica de ingenieril. Por ejemplo, para mover una línea/red de alta tensión con generadores tiene un mayor impacto que desplazar una red de baja tensión, entre otros. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos de redes secas para cada tipología.

Tabla 28 Interferencia redes de suministro eléctrico

| Tipología   | Redes de Suministro Eléctrico |            |            |                         |                |             |               |                    |
|-------------|-------------------------------|------------|------------|-------------------------|----------------|-------------|---------------|--------------------|
|             | Red BT (m)                    | Red MT (m) | Red AT (m) | Transformadores MT (Un) | Torres AT (Un) | Postes (Un) | Red Aerea (m) | Red Canalizada (m) |
| Elevado     | 19631                         | 40044      | 14350      | 59                      | 98             | 311         | 8366          | 1799               |
| Mixto       | 14571                         | 11418      | 5675       | 27                      | 39             | 136         | 7269          | 289                |
| Subterráneo | 3805                          | 7762       | 2782       | 11                      | 19             | 60          | 1622          | 229                |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Tabla 29 Interferencia redes de telecomunicaciones y gas

| Tipología   | Redes de Telecomunicaciones |                 |                          |                       |
|-------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
|             | Redes Comunicaciones (m)    | Armarios (Un)   | Nodos Inalámbricos       | Telefonía (Un)        |
| Elevado     | 24733                       | 7               | 1                        | 11                    |
| Mixto       | 18358                       | 2               | 0                        | 5                     |
| Subterráneo | 4794                        | 1               | 0                        | 1                     |
| Tipología   | Redes de Gas                |                 |                          |                       |
|             | Red gas natural (m)         | Válvula Gn (Un) | Estación Gas natural (m) | Centro administrativo |
| Elevado     | 46187                       | 66              | 0                        | 0                     |

|             |       |    |   |   |
|-------------|-------|----|---|---|
| Mixto       | 26384 | 15 | 0 | 0 |
| Subterráneo | 8953  | 13 | 0 | 0 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Tabla 30 Resultados de interferencias de las redes secas

| Corredor    | Redes eléctricas (m) | Redes de Gas (m) | Redes de comunicaciones (m) | TOTAL (m) |
|-------------|----------------------|------------------|-----------------------------|-----------|
| Elevado     | 74024                | 46187            | 24733                       | 144944    |
| Mixto       | 31664                | 26384            | 18358                       | 76406     |
| Subterráneo | 14349                | 8953             | 4794                        | 28096     |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Ilustración 20 Interferencia de redes secas en la Tipología Elevada

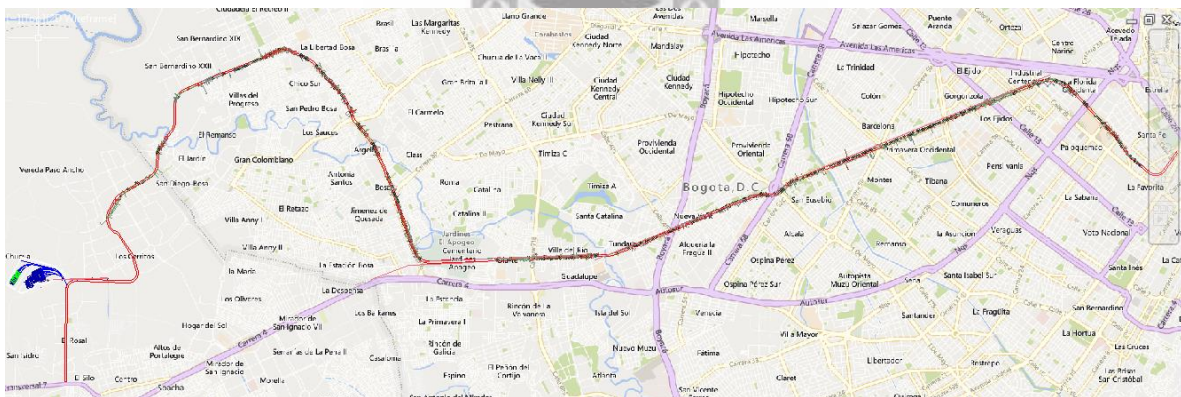
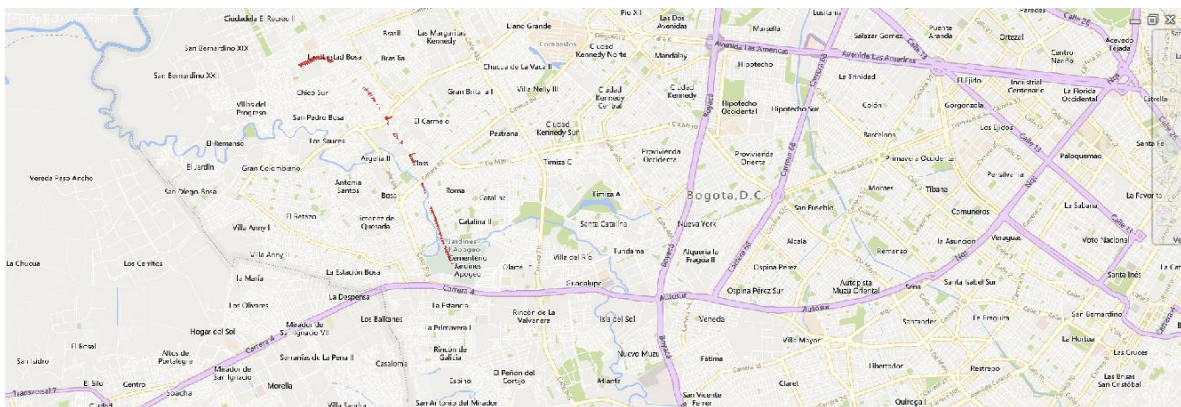


Ilustración 21 Interferencia de redes secas en la Tipología Mixta

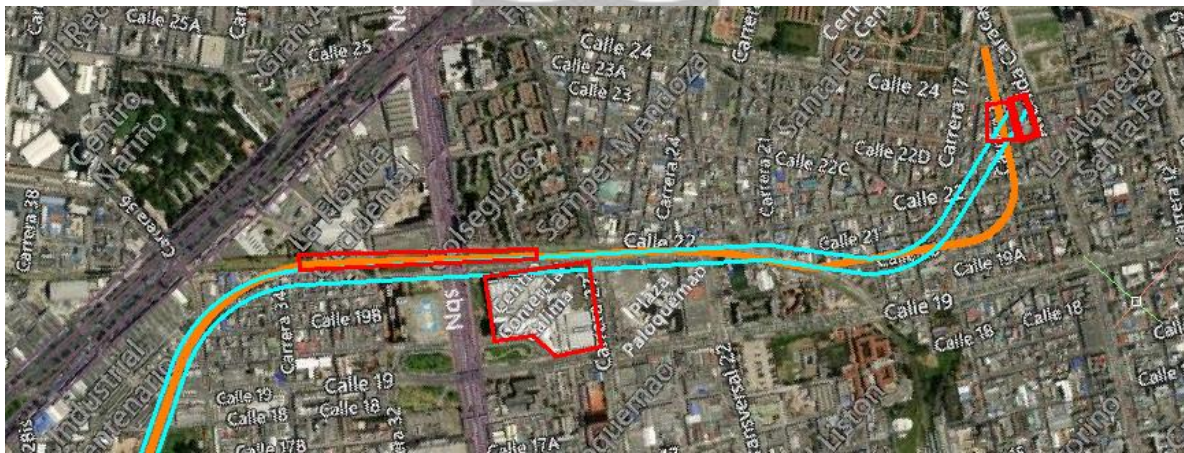




#### 6.2.4. Indicador 4: Tramo de vía con influencia de cimentación profunda

Para el cálculo de este indicador, se definió un buffer de 20 metros para la tipología subterránea y un buffer de 5 metros para la tipología elevada, a partir de eso, se mide la longitud transversal de los edificios e infraestructuras que están dentro del área de influencia definida, que contienen cimentación profunda y que se cuenta con información referente a diseños que ha sido suministrada a la consultoría, particularmente en puntos críticos tales como, la estación Metro Calle 26 y la estación 7 (Av Primera de mayo con Av 68) de la Línea 1 del Metro de Bogotá, el centro comercial Mall Plaza y el Viaducto que atraviesa la NQS de Regiotram de Occidente, tal como se muestra los polígonos rojos en las siguientes ilustraciones.

*Ilustración 22 Puntos conocidos con influencia de cimentación profunda (Calle 26, Mall Plaza, Calle 22 con NQS)*



*Ilustración 23 Punto conocido con influencia de cimentación profunda (Av 1 mayo con Av 68)*



Ilustración 24 Punto conocido con influencia de cimentación profunda sobre Av Bosa (Rio Tunjuelo)



Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 31 Resultados de influencia de cimentación profunda

| Tipología | Longitud |
|-----------|----------|
| Túnel     | 967,001m |
| Viaducto  | 906,977m |
| Mixta     | 967,001m |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Instituto de Desarrollo Urbano

### 6.2.5. Indicador 5: Restricciones afectación al tráfico vehicular y peatonal

Para este indicador, se definieron 5 variables y cada una se calculó teniendo en cuenta particularmente en los puntos que se consideran que generan mayor impacto: zona de inicio, en las transiciones y en los puntos que intercepta con otros proyectos (Regiotram de Occidente y Línea 1 metro de Bogotá) y zona de fin, de la siguiente manera:

- **Cicloruta afectada:** Se identificó que, a lo largo del trazado, particularmente por el separador de la Av. Bosa, afectaría por completo el corredor de la ciclovía.
- **Tráfico peatonal:** Se calculó el área de senderos peatonales que se verían afectados por las zonas de trincheras, las transiciones de túnel-viaducto y la intersección con otros proyectos.



- **Estaciones:** Teniendo en cuenta la ubicación de las estaciones, se calculó el área que se vería afectada por la construcción de las mismas, esta afectaría a la tipología en viaducto.
- **Viaducto:** Se calculo el área aproximada aledaña a las pilas del viaducto, que afectaría el tráfico vehicular y peatonal durante la construcción de las mismas.
- **Obra en superficie:** Para determinar el área de las afectaciones de obra en superficie, se tuvo en cuenta los predios afectados directamente por la construcción del viaducto y las áreas de acceso a las estaciones, ya sea para estaciones subterráneas o elevadas.

Tabla 32 Resultados de afectación al tráfico vehicular

| Tipología | Restricciones afectación |                       |                 |               |  | TOTAL (Ha) |
|-----------|--------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|--|------------|
|           | Cicloruta afectada (m2)  | Tráfico peatonal (m2) | Estaciones (m2) | Viaducto (m2) | Obra en superficie (casas, edificios, zonas verdes) (m2) |            |
| Viaducto  | 6246                     | 5901                  | 1513            | 1122          | 197193   | 21,2       |
| Mixta     | 6246                     | 0                     | 0               | 0             | 83095  | 8,9        |
| Túnel     | 0                        | 0                     | 0               | 0             | 86293  | 8,6        |

### 6.3. Componente 3 Urbano-Paisajístico

#### 6.3.1. Indicador 1: Potencial de generación de espacio público para circulación conexión

Para el cálculo de este indicador se utilizaron las capas de Parques, andenes, calzadas y sistema vial, de las GDB oficiales de Bogotá y el municipio de Soacha, posteriormente estas capas se cortaron para contabilizar la suma del área de cada capa y para cada tipología para conseguir el máximo potencial de generación de espacio público para circulación conexión y la integración con los parques presentes en el buffer propuesto de 500 metros

alrededor de las estaciones y 100 metros colindando con el viaducto, tal como se muestra en las siguientes ilustraciones:

*Ilustración 25 Mapa resultante generación espacio público para la tipología túnel*



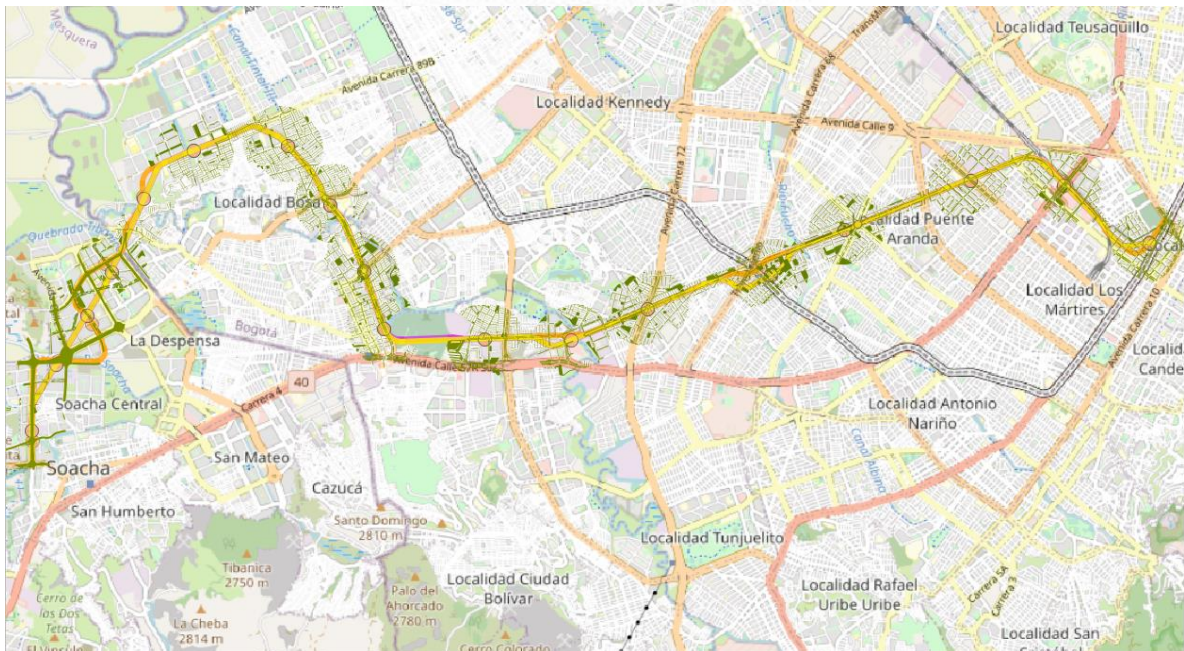
**DE BOGOTÁ D.C.**  
MOVILIDAD  
Instituto de Desarrollo Urbano





Ilustración 26 Mapa resultante generación espacio público para la tipología elevada



Ilustración 27 Mapa resultante generación espacio público de las tres tipologías



|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <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> |  |
|---|---|---|

Este indicador fue medido en superficie; es decir el área en Hectáreas de espacio público para circulación conexión generado por la inserción del sistema, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

*Ilustración 28 Resultados de áreas de potencial de espacio público circulación-conexión*

| Tipología | (ha) de potencial de espacio público para circulación conexión |
|-----------|--|
| túnel     | 500  |
| mixto     | 500  |
| elevado   | 523  |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023*

### 6.3.2. Indicador 2: Afectación de los bienes de patrimonio material con interés cultural mueble, arquitectónico y /o urbanístico en los tres niveles de declaratoria Nacional, Municipal y/o Distrital.

Para el cálculo de este indicador, se identificó la presencia del patrimonio material con interés cultural mueble, arquitectónico y /o urbanístico en los tres niveles de declaratoria Nacional, Municipal y/o Distrital.

- BIC distrital 31
- BIC municipal 3
- BIC nacional 7

La presencia del patrimonio cultural material son 41 unidades próximas al trazado, de las cuales se identificó que únicamente 14 unidades presentan afectación visual y constructivo, dentro de la zona de influencia evaluada de 100 metros.

Se considera un impacto ALTO/MENOR/MEDIO, según el caso, que puede ser mitigado siguiendo las normas que los protegen:

- Desde el POT 555 de 2021 se establece a partir de cada esquina del polígono que conforman el predio BIC unas aristas de 100m de distancia para proteger su panorámica, denominada “cono visual”.
- Desde el Decreto 560 de 2018 que tiene reglamentadas las distancias constructivas de una obra nueva en relación con este.
- Desde la ley nacional Decreto 763 de 2009 y sus reglamentarios la formulación de un Plan Especial de Manejo y Protección -PEMP como instrumento del Régimen Especial de Protección de los BIC en caso de “Riesgo de transformación o demolición parcial o total debido a desarrollos urbanos, rurales y/o de infraestructura”.



En la siguiente tabla se muestran las unidades de los BIC que presentan afectación por cada tipología, que son el input para la matriz multicriterio.

Tabla 33 Unidades de los BIC afectados según tipología

| Tipología | Cantidad | Declaratoria | Tipo de riesgo | Nomenclatura  | Descripción  | Total |
|-----------|----------|--------------|----------------|---|--|-------|
| Viaducto  | 3        | Distrital    | Alto           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puente ferroviario (Av FFCC Sur con Río Fucha)</li> <li>• Puente ferroviario (Av FFCC Sur con Río Tunjuelo)</li> <li>• KR 16 24-45 Edificio Externado</li> </ul>   | 2 puentes porque la estructura pasa por encima a 16 m de altura y 1 edificio (Externado) demolición por paso de la alternativa para cola de maniobras                              | 14    |
|           | 1        | Nacional     | Menor          | • KR 20 24 80 Conjunto funerario  | Por cola de maniobras en zona de influencia Cementerio central.  |       |
|           | 3        | Distrital    | Medio          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• KR 17 20-31</li> <li>• KR 17 20-47</li> <li>• CL 21 17-07 ó CL 21 17-25 Esquina</li> </ul>   | Predios residenciales en el Barrio Santafé que se pueden ver afectados por el paso del viaducto demoliendo las casas del costado sur de la manzana, dejando expuestas sus culatas. |       |
|           | 7        | Distrital    | Medio/bajo     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL 22C 29A 47 Unidad Residencial Colseguros</li> <li>• Av Ciudad Lima 25 04 Plaza de Mercado Paloquemao</li> <li>• CL 22 19B 43 Bodega Ferroviaria FFCC Samper Mendoza</li> <li>• CL 13 42 11 Subestación Eléctrica Gorgonzola</li> <li>• AK 39 17 40 Fabrica Postobón</li> <li>• AK 36 17 B 33 Colegio Salesiano León XIII</li> <li>• CL 60SUR 80K 02 Colegio Claretiano, Bosa</li> </ul> | Cercanía del paso del viaducto dentro de la zona de influencia 100m y la constructiva de los pilares.  |       |
| Túnel     | 1        | Distrital    | Medio          | • CL 21 16A-66  | 1 predio se ve afectado la esquina.  | 1     |
| Mixta     | 1        | Distrital    | Medio          | • CL 21 16A-66  | 1 predio se ve afectado la esquina.  | 1     |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023



### 6.3.3. Indicador 3: Impacto visual

Se identifica la división del espacio y se mide en sección la proporción de área construida sobre área libre tanto para estaciones, cómo en tramos homogéneos, sobre el área analizada de la infraestructura férrea del transporte masivo de pasajeros. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 34 Índice de cobertura según tipología

| Tipología | Área cubierta/área de influencia directa |
|-----------|--|
| túnel     | 0  |
| mixto     | 3,1                                      |
| elevado   | 5,8                                      |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 6.4. Componente 4 Afectación Social

### 6.4.1. Indicador 1: Afectación a la infraestructura o equipamiento social

El cálculo de este indicador fue realizado de acuerdo con la información obtenida del área de influencia directa del proyecto.

Las áreas afectadas para las alternativas se escriben a continuación:

**Subterránea:** Esta alternativa tiene proyectado un túnel de 22,9 km y 18 estaciones subterráneas, por lo que su construcción no genera afectación sobre la superficie y los equipamientos que se ubican sobre esta. A su vez, las estaciones se proponen subterráneas, lo cual disminuye la afectación; sin embargo, se requieren zonas de excavación aledañas a las estaciones que permitan el acceso para la construcción de éstas, lo que podría generar un impacto temporal mientras se genera su construcción.

**Elevada:** Esta alternativa tiene proyectado su desarrollo en un viaducto de 24,4 km y 18 estaciones. Teniendo en cuenta que su trazado se desarrolla de manera elevada genera afectaciones en zonas puntuales.

Para el establecimiento del área de influencia, se contemplan afectaciones en las zonas requeridas para la construcción de la cimentación y las pilas para el soporte de la estructura; para las cuales se definió un área de 10m\*10m. Adicionalmente, se tiene contemplada la

construcción de edificaciones que permitan los accesos a las estaciones, lo cual genera unas áreas adicionales de afectación que fueron analizadas particularmente para cada una de las estaciones, teniendo en cuenta las condiciones actuales existentes en el territorio.

**Mixta:** Esta alternativa contempla un sistema combinado (en viaducto y en túnel), en viaducto, tiene una distancia aproximada de 5,6 km y en túnel tiene una distancia aproximada de 17,5 km. Además, para esta alternativa se tienen contempladas 18 estaciones. Para el tramo en túnel se identifican afectaciones similares que se indican para la alternativa subterránea, que consisten en las áreas de las zonas de excavación para los accesos que permitan la construcción de las estaciones.

Por otro lado, para el tramo en viaducto se contemplan las afectaciones similares que se indican para la alternativa elevada. Entre las cuales se encuentran los puntos en los que se proyectan de manera preliminar la cimentación y las pilas para el soporte de la estructura del viaducto y las áreas en donde se proyectan las edificaciones que permitan el acceso a las estaciones.

A continuación, se presenta los equipamientos afectados que se encuentran dentro del área de intervención del proyecto de cada una de las alternativas que se analizan para el proyecto de la siguiente manera:

Tabla 35 Afectación social (equipamientos).

| Afectación social.   |                    |                  |            |                    |                         |                       |       |
|--|--------------------|------------------|------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------|
| Afectación a la infraestructura o equipamiento social: recreativa, hospitales, centros educativos, centros de salud, centros religiosos, organizaciones sociales |                    |                  |            |                    |                         |                       |       |
| Tipología  | Equipamientos      |                  |            |                    |                         |                       |       |
|  | Centros educativos | Centros de salud | Hospitales | Centros religiosos | Organizaciones sociales | Recreación y deporte. | total |
| Mixto  | 1                  | 0                | 0          | 1                  | 0                       | 4                     | 6     |
| Elevado  | 0                  | 0                | 0          | 1                  | 0                       | 4                     | 5     |
| Subte  | 1                  | 0                | 0          | 1                  | 0                       | 3                     | 5     |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, se evidencia que se presenta mayor afectación de equipamientos en la alternativa definida como mixta, a partir del análisis realizado se discriminan a continuación los parques y centros educativos identificados (únicos equipamientos afectados.).

### Equipamiento recreación y deporte (Parques).

Las alternativas mixta y elevada presentan afectación en cuatro (4) parques vecinales contemplados en tres (3) localidades (Puente Aranda, Los Mártires y Bosa), por su parte la

alternativa subterránea presenta su afectación únicamente en tres (3) parques localizados en dos (2) localidades (Puente Aranda y Los Mártires).

Tabla 36 Equipamientos afectados (recreación y deporte).

| Tipología   | Recreación y deporte |     |                |                      |
|-------------|----------------------|-----|----------------|----------------------|
|             | Localidad            | UPZ | tipo de parque | Nombre               |
| Mixto       | Puente Aranda        | 43  | Vecinal        | La Camelia Norte     |
|             | Puente Aranda        | 40  | Vecinal        | El tejar             |
|             | Los Mártires         | 102 | Vecinal        | Urbanización la 14   |
|             | Bosa                 | 84  | Vecinal        | Desarrollo Bosa Nova |
| Elevado     | Puente Aranda        | 43  | Vecinal        | La Camelia Norte     |
|             | Puente Aranda        | 40  | Vecinal        | El tejar             |
|             | Los Mártires         | 102 | Vecinal        | Urbanización la 14   |
|             | Bosa                 | 84  | Vecinal        | Desarrollo Bosa Nova |
| Subterráneo | Puente Aranda        | 43  | Vecinal        | La Camelia Norte     |
|             | Puente Aranda        | 40  | Vecinal        | El tejar             |
|             | Los Mártires         | 102 | Vecinal        | Urbanización la 14   |

Fuente: Decreto 555 de 2021 adaptado por Consorcio Ardanuy Colombia, 2023.

### Centros educativos.

Es importante resaltar que el análisis de los centros educativos contemplo la revisión tanto de universidades, como de jardines y colegio públicos y privados; sin embargo, dentro del área de influencia definida se identificó un colegio en la localidad Puente Aranda que estaría afectado con la intervención tanto de la tipología mixta como de la subterránea.

Tabla 37 Equipamientos afectados (centros educativos).

| Tipología   | Centros educativos |     |                         |                            |
|-------------|--------------------|-----|-------------------------|----------------------------|
|             | Localidad          | UPZ | Dirección               | Nombre                     |
| Mixto       | Puente Aranda      | 40  | KR 52 C # 19 A - 76 SUR | Colegio Luis Vargas tejada |
| Subterráneo | Puente Aranda      | 40  | KR 52 C # 19 A - 76 SUR | Colegio Luis Vargas tejada |

Fuente: Decreto 555 de 2021 adaptado por Consorcio Ardanuy Colombia, 2023.

### Centros religiosos

Es importante mencionar que las tres tipologías analizadas presentan afectaciones en el Cementerio El Apogeo, ubicado en la localidad de Bosa, en la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 49. Apogeo. El área correspondiente al Cementerio al Apogeo constituye un área privada libre, que ofrece valores ambientales y paisajísticos a la ciudad.

Se resalta la afectación de las diferentes tipologías sobre el Cementerio el Apogeo, debido a que estos equipamientos son parte del patrimonio tangible e intangible de una comunidad; asimismo, son la representación de valores, ideologías y un lugar de memoria social.

Tabla 38 Equipamientos afectados (centros religiosos).

| Tipología          | Centros religiosos |     |                             |                                       |
|--------------------|--------------------|-----|-----------------------------|---------------------------------------|
|                    | Localidad          | UPZ | Dirección                   | Nombre                                |
| <b>Mixto</b>       | Bosa               | 49  | Autopista Sur, km 4. Bogotá | Parque Cementerio Jardines del Apogeo |
| <b>Subterráneo</b> | Bosa               | 49  | Autopista Sur, km 4. Bogotá | Parque Cementerio Jardines del Apogeo |
| <b>Elevado</b>     | Bosa               | 49  | Autopista Sur, km 4. Bogotá | Parque Cementerio Jardines del Apogeo |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023.

De acuerdo con lo identificado en el Componente de Afectación Social se establece que las tipologías que procederían por la calificación obtenida mediante el proceso metodológico corresponderían en primer y segundo lugar a las tipologías definidas como elevada y subterránea, toda vez que, presenta el menor número de equipamientos sociales comunitarios, que se pueden ver afectados a futuro por el proceso constructivo, con cinco (5) equipamientos, cada una.

En tercer lugar, se encuentra la tipología mixta debido que, presenta un mayor número de equipamientos sociales comunitarios, que se pueden ver afectados a futuro por el proceso constructivo, con seis (6) equipamientos identificados.

#### **6.4.2. Indicador 2: Afectación a zonas con presencia de sitios arqueológicos y segmentos del corredor férreo del Sur**

En orden de poder determinar la mayor o menor probabilidad que tienen las distintas modalidades de impactar un sitio arqueológico o los rieles del antiguo corredor férreo del sur para esta fase, se siguió la metodología utilizada en la Etapa 3, la cual tiene en cuenta la extensión del trazado y los diferentes potenciales identificados. Para la alternativa escogida se hizo el mismo ejercicio, pero en esta ocasión determinando el potencial para cada tipología: elevado, mixto y subterráneo. En ese sentido, se sumaron los kilómetros con base en el potencial. Para tal fin, los kilómetros de potencial bajo se multiplicaron por 1, los kilómetros de potencial medio por 2 y los kilómetros de potencial alto por 3, el resultado de la sumatoria da cuenta de manera jerárquica de cada uno de las modalidades, en ese sentido el resultado más alto será aquel que tenga mayor probabilidad de afectar algún sitio arqueológico que se encuentre en el subsuelo o de alterar los rieles del antiguo corredor férreo del sur (Tabla 39). Se debe aclarar que en este caso se determinó como de potencial alto solamente el segmento del trazado de la modalidad de transporte elevado que coincide con el área del antiguo corredor férreo del sur. La modalidad mixta y

subterránea no representarían alteración a los rieles por estar proyectadas a 25 m de profundidad. Para todas las opciones, el área asociada a las estaciones se consideró de potencial medio, teniendo en cuenta el área que se tiene que excavar para las entradas a las estaciones para las modalidades mixta y subterránea y en el caso de la modalidad elevada por la construcción de mayor dimensión asociada a las estaciones y su posible afectación a través de pilotes y columnas. El resto de recorrido se consideró de potencial bajo ya que no hay sitios arqueológicos o puntos de hallazgo de materiales arqueológicos identificados a menos de 300 metros de distancia del trazado propuesto de las distintas modalidades del proyecto.

El potencial arqueológico para las tres modalidades se puede observar de manera gráfica en las siguientes 3 ilustraciones.

Finalmente, en la siguiente tabla se observa el puntaje final de cada modalidad. Con el cálculo realizado se puede observar que la modalidad elevada es la que presenta mayor riesgo de afectación a sitios de importancia arqueológica. Por otro lado, las dos restantes modalidades serían las que mejores puntajes tendrían dentro de la evaluación general.

*Tabla 39 Sumatoria de km de potencial arqueológico por modalidad*

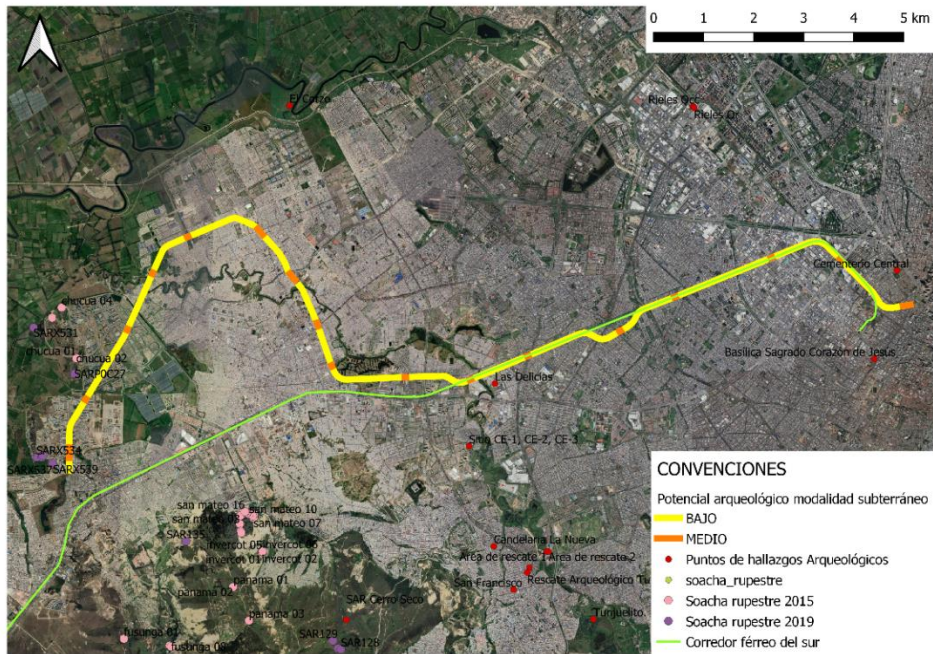
| Tipología   | Potencial Bajo | Potencial bajo<br>KM x 1 | Potencial<br>medio<br>KM | Potencial<br>medio<br>KM x 2 | Potencial alto | Potencial alto<br>x 3 | Total,<br>kilómetros | Total,<br>sumatoria<br>potencial |
|-------------|----------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
| Subterránea | 20,17          | 20,17                    | 2,793                    | 5,586                        | 0              | 0                     | 22,963               | 25,76                            |
| Mixta       | 20,066         | 20,066                   | 3,029                    | 6,058                        | 0              | 0                     | 23,095               | 26,12                            |
| Elevada     | 13,741         | 13,741                   | 2,371                    | 4,742                        | 8,441          | 25,323                | 24,553               | 43,81                            |

*Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023*

Con base en el ejercicio anterior, es importante señalar que claramente las tipologías subterránea y mixta representarían un riesgo menor de afectación. La tipología elevada, en particular por la presencia de estaciones de mayor envergadura en cercanías al antiguo corredor férreo del sur representa un riesgo mayor de afectación a este bien en particular.

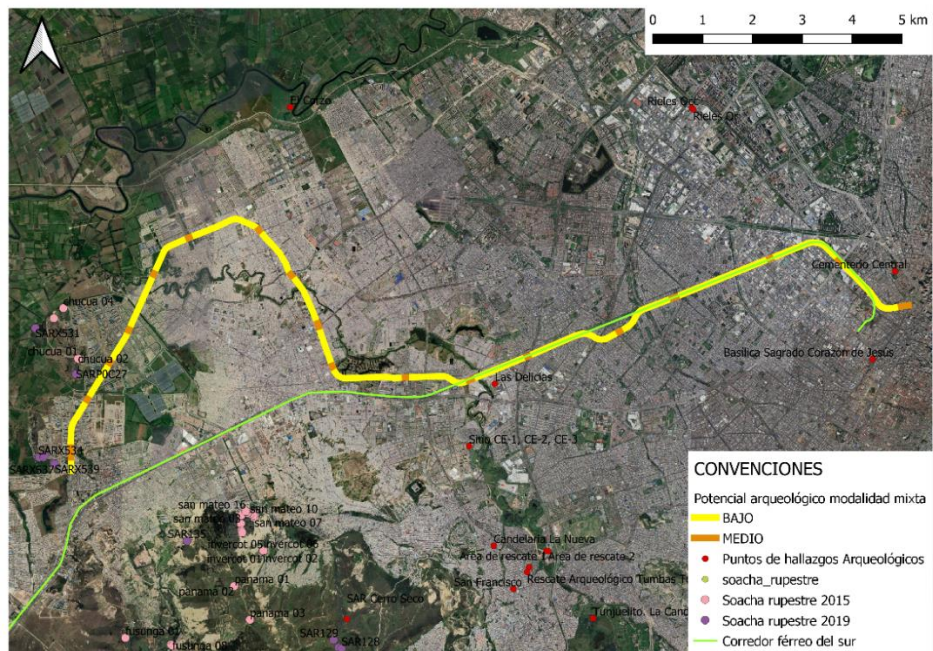


Ilustración 29 Potencial arqueológico - Tipología subterránea



Fuente: Consorcio Ardanuy, 2023

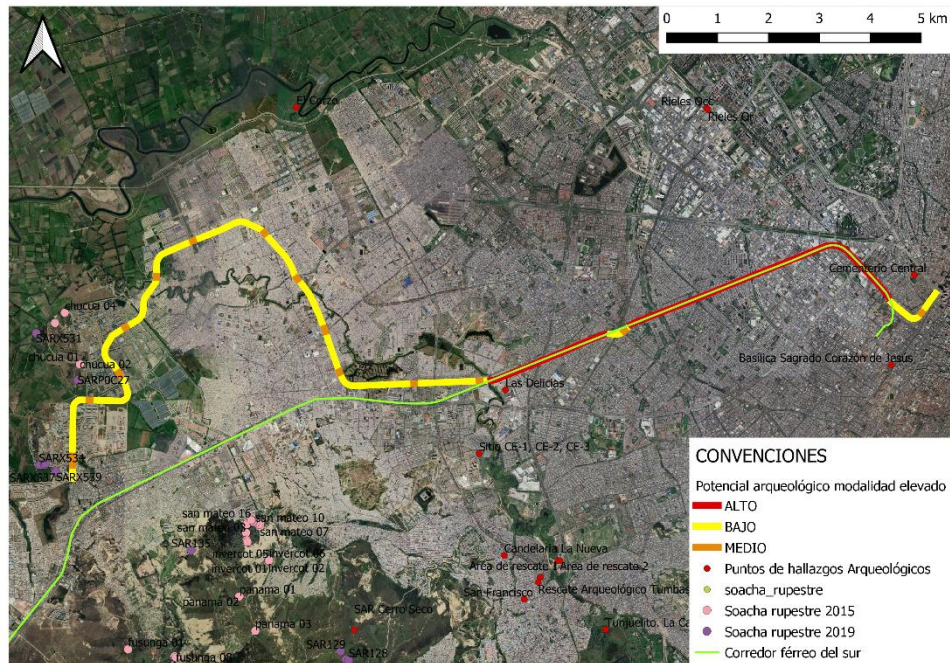
Ilustración 30 Potencial arqueológico - Tipología mixta



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023



Ilustración 31 Potencial arqueológico - Tipología elevada



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### 6.4.3. Indicador 3: Identificación de predios afectados

Para el cálculo de este indicador, se tomó como fuente de información las bases catastrales disponibles de Bogotá y Soacha como se indica a continuación:

- Capa predial de Bogotá
- Capa predial Soacha
- Espacio público de Soacha capa POT.
- Datos abiertos del DADEP (Bogotá).
- Datos abiertos de catastro distrital

Con lo anterior, se realizó el cruce de las capas de predial con el área de influencia definida de 50 metros, y a partir de eso se identifica la cantidad de predios afectados en Bogotá y Soacha durante el trazado y según su tipología. En la siguiente tabla se presentan los predios afectados.

Tabla 40 Cantidad de predios afectados

| Tipología | Predios afectados (Un) |
|-----------|------------------------|
| Túnel     | 2351                   |

|          |      |
|----------|------|
| Viaducto | 2389 |
| Mixta    | 2347 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Ahora, para la determinación del valor por metro cuadrado del terreno se toma como fuente de información las bases de mapas de Bogotá y ZGE Catastrales, se realiza el cruce de la información y se establecen los valores por metro cuadrado y los valores totales para cada una de las tipologías. Los valores de gestión predial según su tipología se presentan en la siguiente tabla, sin embargo, es necesario aclarar que este no es un valor input para la matriz, sino que estos valores serán tenidos en cuenta para el cálculo del CAPEX.

Tabla 41 Valores de gestión predial

| Tipología | Valores Gestión Predial |
|-----------|-------------------------|
| Túnel     | \$ 23.605.097.950       |
| Viaducto  | \$ 23.220.841.100       |
| Mixto     | \$ 23.564.936.150       |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 6.5. Componente 5 Beneficios sociales por Mejoras en transporte

### 6.5.1. Indicador 1: Pasajeros transportados

Este indicador fue calculado para cada tipología (subterráneo, elevado y mixto) para cuatro escenarios propuestos, divididos en dos prospectivas de oferta diferentes. Estos escenarios se explican a continuación.

En este proyecto se han planteado 3 ofertas de transporte público, cada oferta contiene una configuración de proyectos futuros que se encuentran en los ejercicios de planeación de la ciudad.

- **Oferta 1:** Los proyectos, que, dado su grado de avance actual, tienen una alta probabilidad de estar operando en el año 2035. Contempla los siguientes proyectos:
  - Troncales
    - Red de transporte público 2022
    - Av. Calle 13 desde puente Aranda hasta límite del distrito
    - Corredor Verde Carrera 7 desde Calle 34 hasta Calle 200
    - Av. Carrera 68 entre Autopista Sur y Carrera 7
    - Av. Ciudad de Cali desde Av. Circunvalar del Sur hasta Av. Manuel Cepeda Vargas
    - Extensión troncal Autopista Norte desde Estación Terminal hasta Calle 245
    - Conexión troncal Américas desde NQS hasta Puente Aranda

- Fase II y III de Soacha desde San Mateo hasta el Vinculo
- Extensión Troncal Caracas Sur desde estación Molinos hasta Portal Usme
- Av. Villavicencio desde Av. Boyacá hasta Autopista Sur (Portal Tunal – Estación Sevillana)
- Proyectos Férreos
  - Línea 1 de Metro hasta Calle 72
  - Línea 2 de Metro desde Calle 72 hasta Suba
  - Corredor férreo de occidente – Proyecto Regiotram de Occidente
- **Oferta 2:** Proyectos identificados por el Distrito que bajo una visión optimista e ideal estarían operando en el año 2035 y bajo una visión conservadora pueden considerarse. Contempla los siguientes proyectos:
  - Proyectos transporte público Oferta 1
  - Troncales
    - Avenida Ciudad de Cali desde Av. Manuel Cepeda Vargas hasta Calle 80
    - Extensión troncal Av. Eldorado hasta Aeropuerto Eldorado
    - Extensión troncal Calle 80 desde Carrera 100 hasta Puente de Guadua
  - Proyectos Férreos
    - Extensión de la L1 del metro por la Autopista Norte desde la Calle 72 hasta la Calle 100
    - Corredor férreo del Norte – Proyecto Regiotram del Norte
- **Oferta 3:** Proyectos identificados por el Distrito que bajo una visión optimista e ideal estarían operando en el año el año 2055. Contempla los siguientes proyectos:
  - Proyectos de Transporte Público Oferta 2
  - Troncales
    - Calle 170 desde Av. Boyacá hasta Carrera 7
    - Calle 127 desde Carrera 7 hasta Av. Boyacá
    - Av. Calle 63 desde Av. Caracas hasta límite del Distrito Capital
    - Extensión troncal Usme – Yomasa
    - Corredor ALO desde Mondoñedo hasta Calle 80 (Proyectos ALO Sur y ALO Centro)
  - Proyectos Férreos
    - Extensión de la L1 del metro por la Autopista Norte desde la Calle 100 hasta la Calle 200

A partir de esto, se propuso evaluar cada tipología en dos prospectivas de oferta de transporte público:

- Prospectiva A: corte 2035 con oferta 1 y corte 2055 con oferta 2 y
- Prospectiva B: corte 2035 con oferta 2 y corte 2055 con oferta 3.

La prospectiva A es conservadora (contempla los proyectos de la oferta 1 en el 2035 y asume que los de la oferta 3 no estarán completos para el 2055), mientras que la oferta B es optimista, y supone que todos los proyectos de la oferta 2 serán completados para 2035.

Así, en las dos prospectivas se contemplan 4 escenarios:

- **Escenario 1:** Corte 2035 con oferta 1 (prospectiva A)
- **Escenario 2:** Corte 2055 con oferta 2 (prospectiva A)
- **Escenario 3:** Corte 2035 con oferta 2 (prospectiva B)
- **Escenario 4:** Corte 2055 con oferta 3 (prospectiva B)

Con el fin de generar un solo valor por tipología que permita su comparación en la matriz, se promediarán los valores obtenidos entre los cuatro escenarios para cada indicador. Estas modificaciones buscan la mejor representatividad posible del impacto que pueda tener el trazado del proyecto y su tipología sobre la demanda potencial, y son lo que marca la diferencia entre las alternativas tipo túnel, elevado o mixto

$$\text{Indicador} = \frac{\text{Prospectiva A} + \text{Prospectiva B}}{2}$$

Adicionalmente, la modelación de las tipologías contempla la variación de los siguientes parámetros del modelo:

- El trazado del proyecto según el alineamiento correspondiente a cada tipología.
- La ubicación de estaciones según el alineamiento de cada tipología. Este parámetro, junto con el trazado, generan cambios de red en el modelo, cambiando la longitud de algunos recorridos del proyecto, tanto en caminata de acceso como dentro del tren mismo. Estos cambian el tiempo de viaje y, por lo tanto, afectan también el modelo de asignación y la demanda.
- La penalidad de tiempo de acceso. Para este parámetro, se mantendrá el supuesto considerado en las etapas previas al proyecto: 4 minutos para estaciones subterráneas (similares a la Segunda Línea de Metro de Bogotá), 5 minutos para estaciones elevadas (similares a la Primera Línea de Metro de Bogotá) y 3 minutos para estaciones a nivel (similares a las de Regiotram de Occidente). Estos valores fueron acordados con la SDM; se utilizaron valores de referencia ya que la estimación de nuevas funciones de utilidad para los potenciales usuarios del proyecto está fuera del alcance de la consultoría al estar el proyecto en etapa de prefactibilidad y de acuerdo con el manual de maduración de proyectos del IDU. Cabe resaltar que este parámetro es determinante para la comparación de alternativas de elevación, pues busca representar en el modelo cómo el tipo de estación afecta la percepción de costo de acceso del usuario.

La modelación del corredor en las diferentes tipologías muestra el impacto potencial que la elevación del Proyecto puede tener sobre su demanda. A continuación, se presentan los perfiles de carga resultantes del ejercicio de modelación de esta etapa para los cuatro escenarios evaluados por tipología.



Tabla 42 Perfiles de carga tipo túnel.

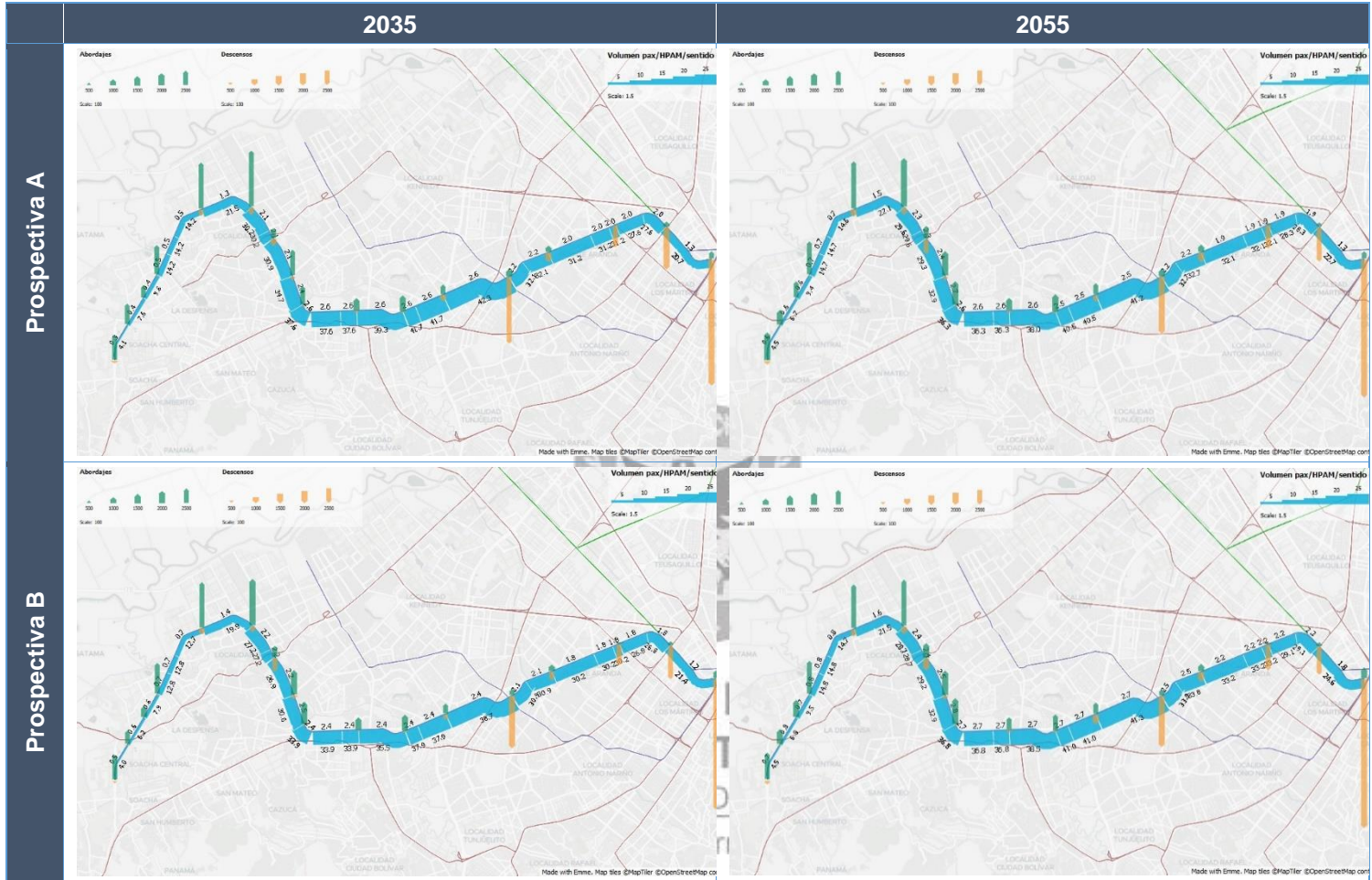
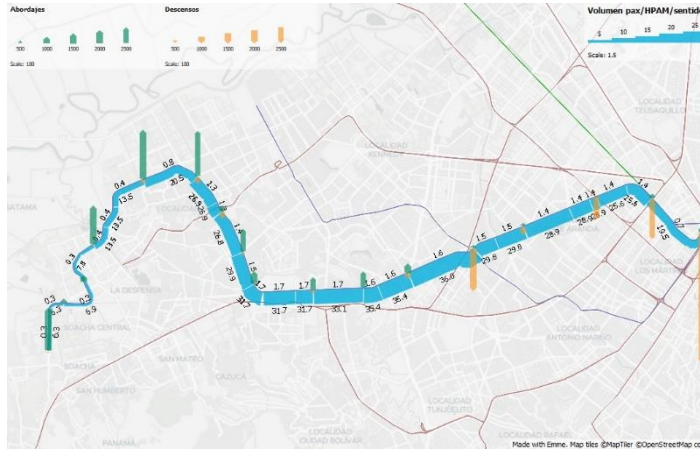


Tabla 3. Perfiles de carga tipo elevado.



Prospectiva A



Prospectiva B

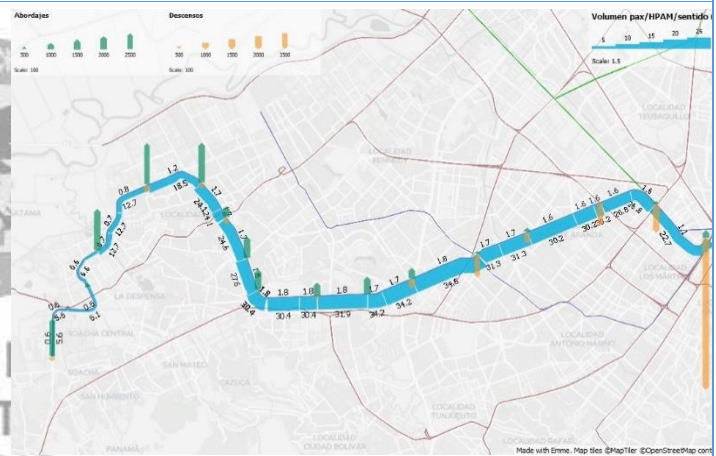
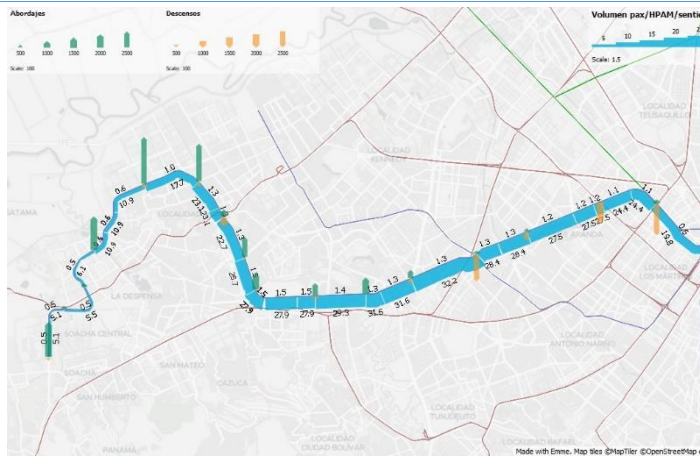
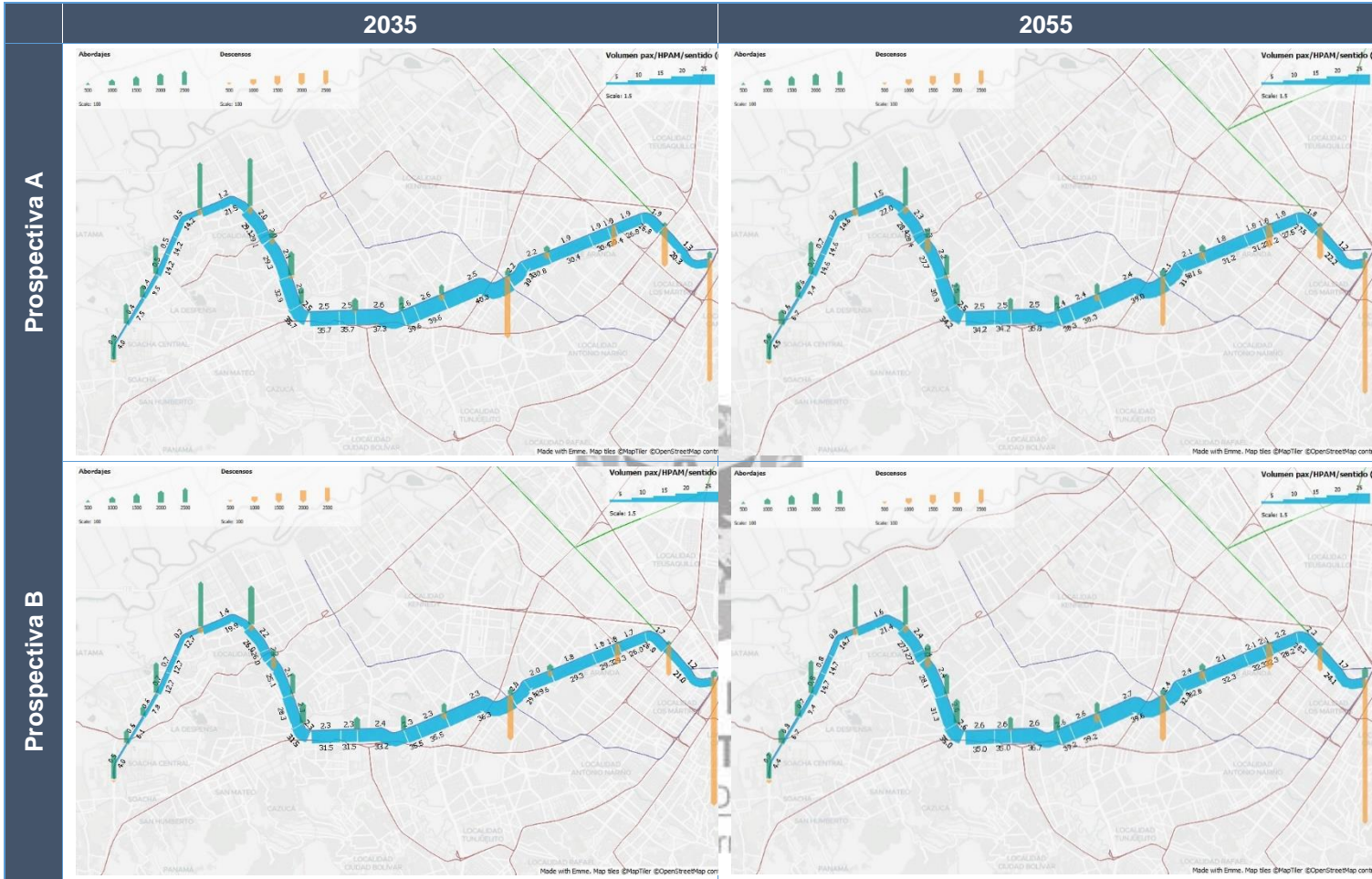




Tabla 4. Perfiles de carga tipo mixto.



A continuación, se presentan los resultados de demanda que serán el input de la matriz multicriterio para este indicador.

Tabla 43 Pasajeros transportados

| Criterio                                  | Túnel (Viajes/HPAM) | Viaducto (Viajes/HPAM) | Mixta (Viajes/HPAM) |
|---|---------------------|------------------------|---------------------|
| Demanda del CFS OD Soacha                 | 15,192              | 13,128                 | 15,058              |
| Demanda del CFS sin Soacha                | 35,116              | 27,466                 | 32,796              |
| <b>Abordajes totales (Abordajes/HPAM)</b> | <b>50,309</b>       | <b>40,594</b>          | <b>47,855</b>       |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 6.6. Componente 6 Financiero

### 6.6.1. Indicador 1: Costo de inversión total

Para la estructuración del CAPEX se tomaron como referencia algunos costos unitarios de proyectos como: Línea 1 Metro de Bogotá, Prefactibilidad Línea 2 del Metro de Bogotá y Regiotram de Occidente, los cálculos detallados se pueden observar en el *Anexo 2 - Componente financiero*. En la siguiente tabla se presenta un resumen del costo total de inversión para cada tipología.

Tabla 44 Costos de inversión

| Tipología | Longitud total (km) | Costo total M COP |
|-----------|---------------------|-------------------|
| Túnel     | 23,122              | \$ 26.490.200     |
| Viaducto  | 24,374              | \$ 16.738.113     |
| Mixta     | 23,103              | \$ 24.594.940     |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### 6.6.2. Indicador 2: Costo de operación y mantenimiento

Para la estimación de los costos de operación y mantenimiento para cada tipología se consideraron 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), los cálculos detallados se pueden observar en el *Anexo 2 - Componente financiero*. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura para cada tipología.

Tabla 45 Costo anual de O&M por tipología

| DESCRIPCIÓN                | Tipología Elevada | Tipología Subterránea | Tipología Mixta |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| Costo anual de O&M (M COP) | \$ 282.187        | \$ 270.763            | \$ 269.105      |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### 6.6.3. Indicador 3: Costo promedio por estación

Para la estimación del costo por estación se tuvo en cuenta los costos unitarios de referencia dependiendo el tipo de estación (elevada y subterránea), y para la tipología mixta que contiene tramos subterráneos y elevados, se estimó el promedio de los costos unitarios



de los dos tipos de estación, a continuación, se relaciona el costo por estación para cada tipología.

Tabla 46 Costos por estación

| Tipología | Costo por estación (M COP) |
|-----------|----------------------------|
| Túnel     | \$ 348.524,15              |
| Viaducto  | \$ 50.563,30               |
| Mixta     | \$ 282.310,63              |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

#### 6.6.4. Indicador 4: Costo por km de línea

Para la estimación del costo por km de la línea, se tuvo en cuenta el costo total de inversión previamente calculado sobre la longitud del trazado según su tipología, a continuación, se presenta los costos obtenidos.

Tabla 47 Costos por km de línea

| Tipología | Longitud total (km) | Costo km de línea M COP |
|-----------|---------------------|-------------------------|
| Túnel     | 23,122              | \$ 1.145.670,77         |
| Viaducto  | 24,374              | \$ 686.720,00           |
| Mixta     | 23,103              | \$ 1.064.577,76         |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### 6.7. Componente 7 Riesgos

#### 6.7.1. Indicador 1: Riesgo geotécnico

En primer lugar, se determinan las distancias dentro del trazado donde cada uno de estos criterios cobra importancia, por lo tanto, estos se ponderan en función de dichas distancias como se muestra a continuación:

Tabla 48 Longitud en la que el criterio es relevante dentro del trazado

| No. | Criterio                         | Longitud en la que el criterio es relevante dentro del trazado |             |       | Ponderación |
|-----|----------------------------------|--|-------------|-------|-------------|
|     |                                  | Elevado  | Subterráneo | Mixto |             |
| 1   | Estructuras cercanas al corredor | 21973  | 21691       | 21691 | <b>0.35</b> |
| 2   | Interferencias con redes         | 24600  | 23070       | 23070 | <b>0.38</b> |

| No. | Criterio   | Longitud en la que el criterio es relevante dentro del trazado |             |       | Ponderación |
|-----|--|--|-------------|-------|-------------|
|     |  | Elevado  | Subterráneo | Mixto |             |
| 3   | Cruces con cuerpos hídricos                                      | 400  | 400         | 400   | <b>0.01</b> |
| 4   | Condicionantes geológicos  | 14300  | 14500       | 14500 | <b>0.23</b> |
| 5   | Zonas especiales como El Apogeo y el cruce de la primero de mayo | 2227.38  | 979.38      | 979   | <b>0.03</b> |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Tabla 49 Calificación criterio riesgo geotécnico

| No.          | Criterio   | Longitud en la que predomina el criterio |             |       | Ponderación | Calificación para cada alternativa |             |       | Puntuación  |             |             |
|--------------|--|--|-------------|-------|-------------|------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|
|              |  | Elevado                                  | Subterráneo | Mixto |             | Elevado                            | Subterráneo | Mixto | Elevado     | Subterráneo | Mixto       |
| 1            | Estructuras cercanas al corredor                                 | 21973                                    | 21691       | 21691 | 0.35        | 4                                  | 2           | 2.4   | 1.41        | 0.70        | 0.84        |
| 2            | Interferencias con redes   | 24600                                    | 23070       | 23070 | 0.38        | 3                                  | 4           | 3.7   | 1.15        | 1.54        | 1.42        |
| 3            | Cruces con cuerpos hídricos                                      | 400                                      | 400         | 400   | 0.01        | 2                                  | 4           | 3.5   | 0.01        | 0.03        | 0.02        |
| 4            | Condicionantes geológicos  | 14300                                    | 14500       | 14500 | 0.23        | 4                                  | 2           | 2.4   | 0.93        | 0.46        | 0.56        |
| 5            | Zonas especiales como El Apogeo y el cruce de la primero de mayo | 2227.38                                  | 979.38      | 979   | 0.03        | 2                                  | 4           | 2     | 0.05        | 0.10        | 0.05        |
| <b>Total</b> |  |  |             |       |             |                                    |             |       | <b>3.55</b> | <b>2.83</b> | <b>2.90</b> |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Tabla 50 Calificación consolidada criterio riesgo geotécnico

| Consolidado | Puntuación    |
|-------------|---------------|
| Elevado     | <b>3.55/5</b> |
| Subterráneo | 2.83/5        |
| Mixto       | 2.90/5        |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS – EVALUACION MULTICRITERIO

Una vez fueron obtenidos los cálculos de cada uno de los indicadores, expuestos en el capítulo anterior, se procedió aplicar la metodología prevista y se obtuvieron los siguientes resultados por cada componente, de igual manera en el Anexo 1 - Cálculo de la Matriz se muestra el cálculo de la totalidad de la Matriz multicriterio.

## 7.1. Resultados por componentes

En este numeral se presentan las tablas resumen con la ponderación obtenida de los indicadores y la ponderación total del componente.

### Afectación ambiental

En el componente de afectación ambiental que tiene un peso del 13%, se puede notar que la tipología subterránea tiene la mejor calificación, viéndose favorecida con la mayor calificación en los indicadores 1 y 2 y desfavorecida con la más baja calificación en el indicador 3. En segundo lugar, la tipología en viaducto viéndose favorecida con la mayor calificación en el indicador 3 y desfavorecida con la más baja calificación en el indicador 1.

Tabla 51 Resultados del componente afectación ambiental

| Afectación Ambiental         |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Tipología                    | I1    | I2    | I3    | POND  |
| Alternativa 7 (Metro pesado) | 30%   | 30%   | 40%   | 100%  |
| Túnel                        | 30,00 | 30,00 | 7,43  | 67,43 |
| Viaducto                     | 1,07  | 3,00  | 40,00 | 44,07 |
| Mixta                        | 2,17  | 23,93 | 8,75  | 34,85 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### Proceso Constructivo

En el componente de proceso constructivo que tiene un peso del 14%, se puede notar que la tipología subterránea tiene la mejor calificación, viéndose favorecida con la mayor calificación en los indicadores 6 y 8, y a pesar que en los indicadores 4, 6 y 7 tiene baja calificación no afecta los resultados, debido a que la diferencia con respecto a las otras tipologías no es significativa. En segundo lugar, la tipología elevada viéndose favorecida con la mayor calificación en los indicadores 4, 5 y 7 y desfavorecida con la más baja calificación en los indicadores 6 y 8.

Tabla 52 Resultados del componente proceso constructivo

| Proceso constructivo         |     |     |     |     |     |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Tipología                    | I4  | I5  | I6  | I7  | I8  | POND |
| Alternativa 7 (Metro pesado) | 29% | 19% | 22% | 15% | 15% | 100% |

|          |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Túnel    | 14,13 | 16,14 | 22,00 | 14,07 | 15,00 | 81,35 |
| Viaducto | 29,00 | 19,00 | 6,68  | 15,00 | 5,63  | 75,31 |
| Mixta    | 16,24 | 16,68 | 10,79 | 14,07 | 13,30 | 71,07 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### Urbano – paisajístico

En el componente de urbano – paisajístico que tiene un peso del 15%, se puede notar que la tipología subterránea tiene la mejor calificación, viéndose favorecida con la mayor calificación en los indicadores 10 y 11 y en el indicador 9 con una calificación baja, pero sin representar una diferencia significativa con respecto a las otras tipologías. En segundo lugar, la tipología mixta que tiene la misma calificación que la tipología subterránea en los indicadores 9 y 10 y en el indicador 11 con una calificación consiguiente a la de mayor calificación.

Tabla 53 Resultados del componente urbano - paisajístico

| Urbano - paisajístico        |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Tipología                    | I9    | I10   | I11   | POND  |
| Alternativa 7 (Metro pesado) | 60%   | 20%   | 20%   | 100%  |
| Túnel                        | 57,36 | 20,00 | 20,00 | 97,36 |
| Viaducto                     | 60,00 | 1,43  | 2,00  | 63,43 |
| Mixta                        | 57,36 | 20,00 | 10,38 | 87,74 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### Afectación social

En el componente de afectación social que tiene un peso del 5%, se puede notar que la tipología subterránea tiene la mejor calificación, viéndose favorecida con la mayor calificación en los indicadores 12 y 13, y con 5 puntos de diferencia a la mayor calificación en el indicador 14. En segundo lugar, la tipología mixta viéndose favorecida con la mayor calificación en el indicador 14, y con resultados muy cercanos a los de mayor calificación en los otros dos indicadores. En este caso en particular la diferencia de calificación entre la tipología elevada y mixta, es de tan solo decimales.

Tabla 54 Resultados del componente afectación social

Afectación social



| Tipología                    | I12   | I13   | I14   | POND  |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Alternativa 7 (Metro pesado) | 50%   | 20%   | 30%   | 100%  |
| Túnel                        | 50,00 | 20,00 | 29,95 | 99,95 |
| Viaducto                     | 50,00 | 11,76 | 29,47 | 91,23 |
| Mixta                        | 41,67 | 19,72 | 30,00 | 91,39 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### Beneficios sociales Mejoras en transporte

En el componente de beneficios sociales por mejoras en transporte que tiene un peso del 21%, el cual contiene únicamente un solo indicador, se puede notar que la tipología subterránea tiene la mejor calificación, y en seguida la tipología mixta.

Tabla 55 Resultados del componente beneficios sociales mejoras en transporte

| Beneficios sociales Mejoras en transporte |        |        |
|---|--------|--------|
| Tipología                                 | I15    | POND   |
| Alternativa 7 (Metro pesado)              | 100%   | 100%   |
| Túnel                                     | 100,00 | 100,00 |
| Viaducto                                  | 80,69  | 80,69  |
| Mixta                                     | 95,12  | 95,12  |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

### Financiero

En el componente de financiero que tiene un peso del 22%, se puede notar que la tipología elevada tiene la mejor calificación, viéndose favorecida con la mayor calificación en los indicadores 16,18 y 19 y con un resultado cercano a la mayor calificación en el indicador 17. En segundo lugar, la tipología mixta viéndose favorecida con la mayor calificación en el indicador 17 y con resultados consiguientes a los de la tipología elevada.

Tabla 56 Resultados del componente financiero

| Financiero                   |     |     |     |     |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| Tipología                    | I16 | I17 | I18 | I19 | POND |
| Alternativa 7 (Metro pesado) | 25% | 25% | 25% | 25% | 100% |

|          |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Túnel    | 15,80 | 23,84 | 3,63  | 14,99 | 58,25 |
| Viaducto | 25,00 | 24,85 | 25,00 | 25,00 | 99,85 |
| Mixta    | 17,01 | 25,00 | 4,48  | 16,13 | 62,62 |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## Riesgo

En el componente de riesgo que tiene un peso del 10%, el cual contiene únicamente un solo indicador, se puede notar que la tipología elevada tiene la mejor calificación, y en seguida la tipología mixta.

Tabla 57 Resultados del componente riesgo

| Riesgo                          |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|
| Tipología                       | I20    | POND   |
| Alternativa 7<br>(Metro pesado) | 100%   | 100%   |
| Túnel                           | 79,72  | 79,72  |
| Viaducto                        | 100,00 | 100,00 |
| Mixta                           | 81,69  | 81,69  |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 7.2. Resultados totales

Como se observa en la siguiente tabla en la cual se presenta los resultados totales, la tipología túnel es la que obtiene mejor calificación, siendo favorecida en la mayoría de sus componentes a excepción del componente financiero, puesto que es la alternativa que mayores costos presenta.

La tipología en viaducto es la que ocupa el segundo lugar siendo favorecida particularmente en los componentes financiero y riesgos, y en los demás componentes con resultados inferiores pero cercanos a la tipología mixta.

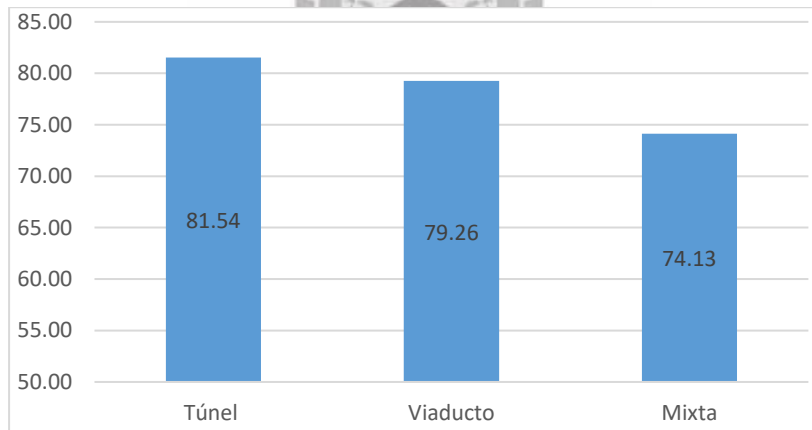
Y, en tercer lugar, quedó la tipología mixta, siendo favorecida en la mayoría de los componentes y con resultados superiores pero cercanos a la tipología en viaducto, sin embargo, la diferencia refleja particularmente en el componente de afectación ambiental y financiero, en la cual se ve desfavorecida.

Tabla 58 Resultados finales de la evaluación multicriterio

|                              | Afectación Ambiental | Proceso constructivo | Urbano - Paisajístico | Afectación social | Beneficios sociales por mejoras en | Financiero | Riesgos |         |
|------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|------------|---------|---------|
| Tipología                    | COMP1                | COMP2                | COMP3                 | COMP4             | COMP5                              | COMP6      | COMP7   | (EVAL.) |
| Alternativa 7 (Metro pesado) | 13%                  | 14%                  | 15%                   | 5%                | 21%                                | 22%        | 10%     | 100%    |
| Túnel                        | 67,43                | 81,35                | 97,36                 | 99,95             | 100,00                             | 58,25      | 79,72   | 81,54   |
| Viaducto                     | 44,07                | 75,31                | 63,43                 | 91,23             | 80,69                              | 99,85      | 100,00  | 79,26   |
| Mixta                        | 34,85                | 71,07                | 87,74                 | 91,39             | 95,12                              | 62,62      | 81,69   | 74,13   |

Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

Ilustración 32 Representación gráfica de los resultados finales



Fuente: Consorcio Ardanuy Colombia, 2023

## 8. CONCLUSIONES

Este documento fue elaborado, tomando como referencia la metodología de la matriz multicriterio realizada en la etapa 3 caracterización y diagnóstico del estudio contractual, con la cual fue seleccionada el trazado de la alternativa.

Para la propuesta de los componentes, criterios e indicadores se definieron de modo que fuera posible su estimación, se contara con los insumos necesarios para el cálculo de cada uno, y están orientados para que se obtuvieran resultados diferenciales en los indicadores entre las 3 tipologías a nivel de prefactibilidad.

Con la metodología aplicada para esta evaluación multicriterio, que permitió comparar tres (3) propuestas de tipología (elevada, subterránea y mixta) y evaluar su desempeño frente a cada indicador, se obtuvo la tipología subterránea con la mejor calificación, de la cual vale la pena destacar lo siguiente:

- ✓ En el análisis por componentes, se puede evidenciar que es favorecida en 5 de 7 componentes en total, siendo estos, afectación ambiental, proceso constructivo, urbano–paisajístico, afectación social y beneficios sociales mejoras en transporte, representando un 68% de la matriz multicriterio.
- ✓ Los 2 componentes en los cuales no se ve favorecida es financiero y riesgo, representando un 32% restante de la matriz multicriterio.
- ✓ La longitud total del trazado subterráneo es 23.122 km, es más corta en aproximadamente 1 km, que la longitud total de las otras tipologías, esto se debe a que, en la zona de expansión en Soacha, se optimizó el trazado de tal forma que su configuración no contiene la misma cantidad de curvas que la tipología elevada, sino que se proyectó un tramo recto hasta llegar a la zona del patio taller.

Ahora bien, en lo referente a los componentes que no se ve favorecida esta tipología subterránea, resulta necesario mencionar que, en relación al componente financiero, es una alternativa que efectivamente presenta los mayores valores, pues al ser una obra subterránea con tuneladora los costos son mayores, aun cuando tiene una longitud menor. Así mismo los costos por km y por estación también suben.

En cuanto al componente de riesgo, se definieron 5 criterios en los cuales se identificaron las posibles afectaciones que dichos trabajos puedan causar al entorno, en función de la infraestructura existente, los cauces naturales a atravesar y los tipos de materiales presentes. Es importante resaltar que este indicador fue calculado con la información disponible en esta etapa de prefactibilidad y en este nivel previo, razón por la cual deberán ser evaluados diferentes riesgos en la factibilidad y en fases posteriores del proyecto.

Finalmente, la consultoría continuará con la profundización de los estudios a nivel de prefactibilidad sobre la alternativa de túnel, que obtuvo la mejor calificación en el ejercicio realizado. Así mismo se aclara que dicha alternativa podrá ser sujeta de optimizaciones en fases posteriores del proyecto (Factibilidad), donde se podría evaluar algunos tramos a nivel para disminuir el costo del proyecto.