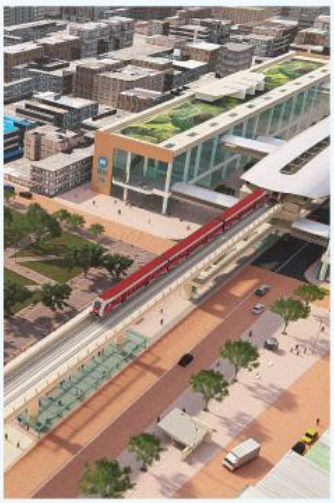
Public Disclosure Authorized

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTA (PLMB)

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL (EIAS)

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

DOCUMENTO N° ETPLMB-ET19-L16.6-ITE-I-0001_R3

MAYO DE 2018

TABLA DE CONTENIDO

PÁG.

6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS 8

6.1 INTRODUCCIÒN 8
6.2 OBJETIVO 9
6.3 METODOLOGÍA DESARROLLADA 9
6.3.1 Proceso de optimización de estaciones 9
6.3.2 Proceso de caracterización de la demanda con fines de comparación de las alternativas 11
6.4 ALTERNATIVAS 12
6.4.1 Situación Actual 12
6.4.2 Características de las alternativas propuestas 16
6.4.3 Trazado geométrico 17
6.4.3.1 Recopilación, inventario y análisis de la información 17
6.4.3.2 Objetivo 18
6.4.3.3 Enfoques técnicos del estudio del trazado de las alternativas 18
6.4.3.4 Condiciones para la inserción 18
6.4.4 Identificación de alternativas 20
6.4.4.1 Alternativas de tipo A 21
6.4.4.2 Alternativas de tipo B 25
6.4.4.3 Alternativas B.1 y B.2 25
6.4.4.4 Alternativas de tipo C 28
6.4.4.5 Alternativas C.1 y C.2 28
6.4.4.6 Alternativas de tipo D 31
6.4.4.7 Alternativas D.1 y D.2 32
6.4.5 Intersección de la inserción del viaducto por tramos 33
6.4.5.1 Canal Tintal II/Avenida Villavicencio 34
6.4.5.2 Avenida Primero de Mayo 39
6.4.5.3 Variante por NQS y Calle 8 44
6.4.5.4 Variante por el Fucha 46
6.4.5.5 Comparación variantes trazado 47
6.4.5.6 Calle 1 47
6.4.5.7 Avenida Caracas 49
6.4.5.8 Autonorte 54
6.5 MARCO DE LA EVALUACIÒN MULTICRITERIO 56
6.5.1 Metodología de la evaluación multicriterio 56
6.6 DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES 59
6.6.1 Impacto ambiental 59
6.6.2 Proceso constructivo 59
6.6.3 Urbano-Paisajístico 60
6.6.4 Experiencia del usuario 60
6.6.5 Beneficios sociales 61
6.6.6 Financieros 61
6.6.7 Riesgos 61
6.7 DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS E INDICADORES 62
6.7.1 Componente “Impacto ambiental” 62
6.7.2 Componente “Proceso Constructivo” 66
6.7.3 Componente “Urbano-Paisajístico” 71
6.7.4 Componente “Experiencia del Usuario” 78
6.7.5 Componente “Beneficios Sociales” 80
6.7.6 Componente “Financiero” 82

6.7.7 Componente "Riesgos" *85*
6.8 CUANTIFICACIÓN DE LOS INDICADORES Y CALIFICACIÓN 89
6.8.1 Componente "Impacto ambiental" *89*
6.8.2 Componente "Proceso Constructivo" *98*
6.8.3 Componente "Urbano-Paisajístico" *108*
6.8.4 Componente "Experiencia del Usuario" *116*
6.8.5 Componente "Beneficios Sociales" *120*
6.8.6 Componente "Financiero" *125*
6.8.7 Componente "Riesgos" *134*
6.9 EVALUACIÒN Y COMPRACIÒN DE LAS ALTERNATIVAS 141
6.10 CONCLUSIONES 145
6.11 ANEXOS 147
6.11.1 Trazado Geométrico para cada alternativa *147*
6.11.2 Estimación de la generación de escombros para cada alternativa *147*
6.11.3 Estimación de afectación arbórea para cada alternativa *147*
6.11.4 Estimación de la generación de ruido por la operación y la construcción del sistema para cada alternativa *147*
6.11.5 Estimación de la generación de vibraciones por la operación y la construcción del sistema para cada alternativa *147*
6.11.6 Cartografía del análisis del impacto de las obras sobre la operación de las troncales del Transmilenio *147*
6.11.7 Cartografía del análisis potencial de desarrollo inmobiliario para cada alternativa *147*
6.11.8 Cartografía de análisis del potencial de recuperación de zonas deprimidas para cada alternativa *147*
6.11.9 Cartografía de análisis de la afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico para cada alternativa *147*
6.11.10 Secciones Transversales Típicas para el análisis del impacto visual *147*
6.11.11 Base de Datos de crímenes en el sistema de metro de New York *147*
6.11.12 Estimaciones de costos de inversión por alternativa *147*
6.11.13 Identificación de predios impactados por el trazado de cada alternativa *147*

LISTA DE TABLAS

PÁG.

Tabla 6.1 Síntesis de las estaciones por cada alternativa (en rosa estaciones subterráneas y en verde estaciones elevadas)..... 10
Tabla 6.2 Troncales de BRT de la red integrada considerada en la oferta de TC de 2030 – Fuente: SDM, Julio, 2016 11
Tabla 6.3 Síntesis de las principales características de las alternativas por familias..... 17
Tabla 6.4 Lista de información disponible recibida para ejecutar el trazado geométrico 17
Tabla 6.5 Hipótesis para desarrollar el trazado geométrico de las 4 familias de alternativas 19
Tabla 6.6 Peso de los componentes de evaluación – Fuente: Comité de Seguimiento Consultoría (CSC)..... 57
Tabla 6.7 Pesos relativos de cada componente aprobados por el CSC 58
Tabla 6.8 Valores de resultados y calificación del indicador Generación de escombros durante las obras..... 94
Tabla 6.9 Identificación de individuos arbóreos – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 95
Tabla 6.10 Valores de resultados y calificación del indicador “Afectación arbórea”..... 95
Tabla 6.11 Valores de resultados y calificación del indicador “Generación de ruido por la operación del sistema” 96
Tabla 6.12 Criterios de cercanía a edificaciones para la evaluación de vibraciones – Fuente: Imágenes tomadas del proyecto CL1, modificado por SYSTRA-SIGMA GP 97
Tabla 6.13 Valores de resultados y calificación del indicador “Generación de vibraciones por la operación del sistema” 97
Tabla 6.14 Valores de resultados y calificación del indicador “Tiempo de construcción en meses” 99
Tabla 6.15 Predios identificados con usos comerciales y mixtos acorte al POT Decreto Distrital 190 de 2004 por alternativa” 99
Tabla 6.16 Rendimiento de construcción por alternativa..... 100
Tabla 6.17 Valores de resultados y calificación del indicador “Perturbación a vecinos comerciales” 101
Tabla 6.18 Valores de resultados y calificación del indicador “Perturbaciones al tráfico vehicular” 102
Tabla 6.19 Valores de resultados y calificación del indicador “Perturbaciones en la operación del BRT” 102
Tabla 6.20 Ejemplo para la estimación del ruido durante la construcción..... 103
Tabla 6.21 Valores de resultados y calificación del indicador “Generación de ruido por la construcción del sistema”..... 103
Tabla 6.22 Valores de resultados y calificación del indicador “Generación de vibraciones por la construcción del sistema”..... 104
Tabla 6.23 Longitud total de las redes de servicio públicos afectados..... 107
Tabla 6.24 Valores de resultados y calificación del indicador “Interferencias con redes principales 107
Tabla 6.25 Valores de resultados y calificación del indicador “Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios” 109
Tabla 6.26 Valores de resultados y calificación del indicador “Potencial de generación de espacio público”..... 111

Tabla 6.27 Valores de resultados y calificación del indicador “Potencial de recuperación de zonas deprimidas” 112
Tabla 6.28 Valores de resultados y calificación del indicador “Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico” 113
Tabla 6.29 Valores de resultados y calificación del indicador “Proximidad con edificaciones 115
Tabla 6.30 Valores de resultados y calificación del indicador “Impacto visual” 116
Tabla 6.31 Valores de resultados y calificación del indicador “Apropiación de la ciudad” 117
Tabla 6.32 Cantidad de incidentes por tipo de estación metro de New York 118
Tabla 6.33 Cantidad de estaciones según tipo de infraestructura 119
Tabla 6.34 Valores de resultados y calificación del indicador “Percepción de seguridad” 120
Tabla 6.35 Valores de resultados y calificación del indicador “Percepción de salubridad e higiene” 120
Tabla 6.36 Carga máxima (pphpd - Pasajeros por hora y por dirección) de las troncales simuladas en el horizonte de 2030 121
Tabla 6.37 Síntesis de los resultados de las simulaciones de desplazamientos por alternativa ... 122
Tabla 6.38 Valores de resultados y calificación del indicador “Pasajeros transportados en HP” ... 123
Tabla 6.39 Valores de resultados y calificación del indicador “Ahorros en tiempo durante HP” ... 124
Tabla 6.40 Valores de resultados y calificación del indicador “Facilidad de conexión BRT-Metro” 125
Tabla 6.41 Valores unitarios para obra civil 126
Tabla 6.42 Costos de inversión internacionales de viaductos similares 127
Tabla 6.43 Indicadores recomendados para el capítulo Obra Civil (valorados en millones) 128
Tabla 6.44 Estudio comparativo internacional de metrajes de estaciones de metro 129
Tabla 6.45 Indicadores capítulo de urbanismo y paisajismo (valores en millones) 130
Tabla 6.46 Indicadores capítulo de obras civiles adicionales (valores en millones) 130
Tabla 6.47 Indicadores capítulos de costos directos (valores en millones) 130
Tabla 6.48 Porcentajes para otros costos 131
Tabla 6.49 Costo total y costo por km para cada alternativa (millones COP) 132
Tabla 6.50 Valores de resultados y calificación del indicador “Costos de inversión proyecto metro por kilómetro (incluye predios) 133
Tabla 6.51 Estimación de las características operacionales de cada alternativa 134
Tabla 6.52 Valores de resultados y calificación del indicador “Costos de operación y mantenimiento 134
Tabla 6.53 Valores de resultados y calificación del indicador “Subsidencia y derrumbes” 135
Tabla 6.54 Valores de resultados y calificación del indicador “Riesgo sísmico” 136
Tabla 6.55 Valores de resultados y calificación del indicador “Riesgo sobre el cronograma” 137
Tabla 6.56 Número de lotes afectados por la inserción de la PLMB por cada alternativa 139
Tabla 6.57 Número de predios afectados por la inserción de la PLMB por cada alternativa 139
Tabla 6.58 Valores de resultados y calificación del indicador “Capacidad de gestión para la adquisición predial” 140
Tabla 6.59 Valores de resultados y calificación del indicador “Riesgo financiero” 141

LISTA DE FIGURAS

PÀG.

Figura 6.1 Proceso iterativo de definición de alternativas 9
Figura 6.2 Proceso iterativo de optimización del número y posición de estaciones 10
Figura 6.3 Incremento parque automotor 2008 - 2016 12
Figura 6.4 Emisiones de GEI del Sector transporte en Colombia proyectadas al año 2040 14
Figura 6.5 Tendencia y proyecciones de emisiones de PM10 2008-2030 14
Figura 6.6 Trazado original CL1 con inserción subterránea - Fuente: SYSTRA 16
Figura 6.7 Croquis de zona de transición infraestructura, sentido longitudinal – Fuente: SYSTRA 20
Figura 6.8 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa base modificada (configuración subterránea original del proyecto del CL1) – Fuente: CL1 22
Figura 6.9 Alternativa Base Modificada – Fuente: SYSTRA 22
Figura 6.10 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa A.1 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) – Fuente: SYSTRA-CL1 23
Figura 6.11 Alternativa A.1 – Fuente: SYSTRA 24
Figura 6.12 Transición infraestructura elevada a subterránea Alternativa A.1 – Fuente: SYSTRA . 25
Figura 6.13 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa B.1 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1 26
Figura 6.14 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa B.2 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1 26
Figura 6.15 Alternativas B.1 y B.2 – Fuente: SYSTRA 27
Figura 6.16 Transición infraestructura elevada a subterránea Alternativa Familia B – Fuente: SYSTRA 28
Figura 6.17 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa C.1 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1 29
Figura 6.18 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa C.2 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1 29
Figura 6.19 Alternativas C.1 y C.2 – Fuente: SYSTRA 30
Figura 6.20 Transición infraestructura elevada a subterránea Alternativa Familia C – Fuente: SYSTRA 31
Figura 6.21 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa D.1. Fuente: SYSTRA 32
Figura 6.22 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa D.2. Fuente: SYSTRA 32
Figura 6.23 Alternativas D.1 y D.2 – Fuente: SYSTRA 33
Figura 6.24 Vista del Canal Tintal II a la altura del relleno sanitario Gibraltar 34
Figura 6.25 Sección tipo en canal Tintal II con inserción lateral del lado oeste – Fuente: SYSTRA 35
Figura 6.26 Vista del canal Tintal II a la altura del recinto del Portal de las Américas 35
Figura 6.27 Sección tipo en el canal Tintal II con estación metro en conexión con Portal de las Américas – Fuente: SYSTRA 36
Figura 6.28 Vista de la intersección de la Av. Villavicencio con la Av. Cali 36
Figura 6.29 Sección tipo Av. Villavicencio con inserción central sobre separador existente – Fuente: SYSTRA 37

Figura 6.30 Sección particular Av. Villavicencio con inserción excéntrica puntualmente – Fuente: SYSTRA 37
Figura 6.31 Sección tipo Av. Villavicencio con estación Villablanca – Fuente: SYSTRA 38
Figura 6.32 Planta con enlace entre Av. Villavicencio y Av. Primero de Mayo: trazado aéreo R200 en verde y subterráneo R325 en rojo, estación de servicio existente en violeta – Fuente: SYSTRA 38
Figura 6.33 Vista de la estación de servicio impactada en el enlace entre Av. Villavicencio y Av. Primero de Mayo 39
Figura 6.34 Sección tipo Av. Primero de Mayo con inserción central sobre separador existente – Fuente: SYSTRA 39
Figura 6.35 Sección tipo Av. Primero de Mayo con estación existente – Fuente: SYSTRA 40
Figura 6.36 Sección tipo Av. Primero de Mayo con pasarela peatonal existente – Fuente: SYSTRA 40
Figura 6.37 Vista del Hospital Kennedy sobre la Av. Primero de Mayo 41
Figura 6.38 Planta con trazado en viaducto a nivel de la Av. Boyacá – Fuente: SYSTRA 42
Figura 6.39 Vista de los predios impactados por la estación metro Av. Boyacá y de los puentes a reconstruir aprovechando la intervención 42
Figura 6.40 Vista de la confluencia de la Av. Primero de Mayo en elevado con la Av. 68 a nivel 43
Figura 6.41 Planta de la estación Av. 68 con los proyectos metro y BRT, con impacto predial en violeta – Fuente: IDU y SYSTRA 44
Figura 6.42 Vista de la estación de Transmilenio NQS 45
Figura 6.43 Sección tipo Calle 8 Sur con inserción centrada entre los límites de fachada de construcciones existentes – Fuente: SYSTRA 45
Figura 6.44 Vista del canal Fucha en el tramo entre NQS y La Fragua, con una anchura notable de la calle 46
Figura 6.45 Sección tipo Canal Fucha con inserción lateral, con impacto puntual sobre las fachadas adelantadas – Fuente: SYSTRA 47
Figura 6.46 Planta comparativa de los dos trazados con las dos opciones de localización de la estación de metro NQS – Fuente: SYSTRA 47
Figura 6.47 Sección tipo Av. Calle 1 con inserción central sobre el separador existente – Fuente: SYSTRA 48
Figura 6.48 Planta de enlace del trazado aéreo entre la Av. Calle 1 y la Av. Caracas, predios impactados en violeta – Fuente: SYSTRA 48
Figura 6.49 Vista del cruce entre la Av. Calle 1 y la Av. Caracas, con edificios altos presentes que condicionan la inserción 49
Figura 6.50 Vistas de la Av. Caracas en la actualidad a nivel de las calles 11, 45 y 74 49
Figura 6.51 Sección tipo Av. Caracas con inserción central sobre el andén BRT ampliado a 9 m – Fuente: SYSTRA 50
Figura 6.52 Sección tipo estación metro Av. Caracas con inserción central sobre el andén BRT ampliado a 9 m – Fuente: SYSTRA 51
Figura 6.53 Vista del acceso al intercambiador deprimido del BRT en la Av. Caracas en la zona del proyecto Estación Central 52
Figura 6.54 Vista del paso de la Av. Caracas sobre la Calle 26 53
Figura 6.55 Vista izquierda: intercambiador entre la Av. Caracas y la Calle 80. Vista derecha: monumento a Los Héroes 53
Figura 6.56 Vista de la Autonorte desde Los Héroes 54

Figura 6.57 Sección tipo Autonorte con inserción central sobre el separador de Transmilenio – Fuente: SYSTRA 55
Figura 6.58 Planta del intercambiador de la Calle 94, entre estaciones Calle 85 y Calle 100 – Fuente: SYSTRA 55
Figura 6.59 Ponderación de los criterios del componente “Impacto Ambiental”- Fuente: CSC 65
Figura 6.60 Ponderación de los indicadores del componente “Impacto ambiental”– Fuente: CSC . 66
Figura 6.61 Ponderación de los criterios del componente “Proceso constructivo” – Fuente: CSC .. 70
Figura 6.62 Ponderación de los indicadores del componente “Proceso constructivo” – Fuente: CSC 71
Figura 6.63 Ponderación de los criterios del componente “Urbano Paisajístico”– Fuente: CSC 77
Figura 6.64 Ponderación de los indicadores del componente “Urbano Paisajístico”– Fuente: CSC 78
Figura 6.65 Ponderación de los indicadores del componente “Experiencia del Usuario”- Fuente: CSC 80
Figura 6.66 Ponderación de los criterios del componente “Beneficios sociales” – Fuente: CSC..... 82
Figura 6.67 Ponderación de los indicadores del componente “Beneficios sociales” – Fuente: CSC82
Figura 6.68 Ponderación de los criterios del componente “Financiero” ” – Fuente: CSC 84
Figura 6.69 Ponderación de los criterios del componente “Riesgos” – Fuente: CSC 89
Figura 6.70 Interferencia con cuerpos de agua – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 90
Figura 6.71 Valores de resultados y calificación del indicador Interferencia con cuerpos de agua . 91
Figura 6.72 Ejemplo de tipologías de construcciones para la estimación de m3 de demoliciones – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 91
Figura 6.73 Correlación de áreas de construcción y volúmenes de escombros generados – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 92
Figura 6.74 Cimentación Tipo D-7 – Fuente: Proyecto estructuras ramal técnico, Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1, 2013..... 93
Figura 6.75 Metodología para el cálculo del volumen de escombros – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 93
Figura 6.76 Predios identificados con usos comerciales y mixtos acorde al POT decreto Distrital 190 de 2004 por alternativa..... 100
Figura 6.77 Redes afectadas por construcción de túnel con TBM - Fuente: SYSTRA-SIGMA GP106
Figura 6.78 Redes afectadas por construcción de túnel con trinchera con pantallas – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 106
Figura 6.79 Redes afectadas por construcción de viaducto – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 107
Figura 6.80 Tipologías de estaciones consideradas en las estimaciones de impactos – Fuente: SYSTRA 108
Figura 6.81 Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios – Fuente: SYSTRA-SIGMA..... 109
Figura 6.82 Potencial de generación de espacio púbico – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 110
Figura 6.83 Potencial de recuperación de zonas deprimidas – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 112
Figura 6.84 Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 113
Figura 6.85 Proximidad con edificaciones – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 114
Figura 6.86 Impacto visual – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 116
Figura 6.87 Estadísticas de crímenes entre 2008-13 en estación subterránea Times Square, NY Subway..... 119

Figura 6.88 Diagrama de carga en la red de transporte masivo simulada en la HP 2030 – Fuente: SDM 121
Figura 6.89 Abordajes en el metro y pphpd en la HP por alternativa – Fuente: SDM 123
Figura 6.90 Ejemplo de identificación de lotes afectados por la inserción de la PLMB por trazado, estaciones y fachada – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP 138
Figura 6.91 Resultados del AMC – Familia A 142
Figura 6.92 Resultados del AMC – Familia B 142
Figura 6.93 Resultados del AMC – Familia C 143
Figura 6.94 Resultados del AMC – Familia D 143
Figura 6.95 Resultados del AMC – Resultado final global según escenario definido por CSC – Fuente: SYSTRA 144
Figura 6.96 Resultado final global del análisis multicriterio según escenario definido por CSC – Fuente: SYSTRA 144

"El contenido de este documento se encuentra en construcción. Por lo anterior, la información aquí consignada será actualizada con ocasión de las mejoras o inclusiones derivadas de las socializaciones y observaciones, o de los cambios regulatorios y/o normativos que surjan a nivel nacional y/o local. De igual manera la información será actualizada con base en los requerimientos y/o obligaciones que la autoridad ambiental competente haya establecido para el proyecto.

El propósito de publicar y brindar la información aquí contenida, es cumplir con lo establecido con los estándares internacionales de la s salvaguardas ambientales y sociales que utiliza la banca multilateral. Este documento no puede considerarse bajo ninguna circunstancia como una versión final hasta que la EMB y la Banca Multilateral manifiesten que se trata del documento definitivo."

6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

6.1 INTRODUCCIÒN

Este capítulo contiene una descripción de la situación actual de Bogotá en términos de movilidad, a partir de información relacionada con el crecimiento poblacional, el aumento en la tenencia de vehículos particulares y el incremento de la demanda del Sistema de Transporte Público Transmilenio, mostrando un escenario dinámico con una tendencia a seguir aumentando a futuro; esto incrementará los efectos negativos relacionados, con las emisiones de contaminantes locales y de Gases de Efecto Invernadero - GEI, la accidentalidad vial, el tiempo de viaje y en general, la insatisfacción de los usuarios respecto a la movilidad y el sistema de transporte público de la ciudad.

Bogotá ha desarrollado un Sistema Integrado de Transporte para lograr la unificación de la programación y operación de todo el Transporte Público (incluyendo el Sistema Transmilenio y sus rutas alimentadoras). Asimismo, se contempla para la ciudad la materialización en el mediano plazo de las fases de ampliación del sistema Transmilenio y la definición y construcción del sistema Metro.

El desarrollo de una línea de Metro ha sido un tema en discusión desde hace decenas de años en Bogotá, llevando a la realización de varios estudios de definición. Anterior a este estudio, fue desarrollado el estudio de Ingeniería Básica Avanzada para la PLMB, el cual terminó en agosto 2015, llevando al diseño de la Primera Línea de Metro de Bogotá con infraestructura completamente subterránea. A este proyecto se le había establecido un presupuesto de común acuerdo entre la anterior Administración Distrital y el Gobierno Nacional que quedó; sin embargo, sin posibilidades para ser desarrollado por la devaluación masiva de la moneda colombiana y por los planteamientos de la nueva Administración Distrital, la cual analiza que la estructuración integral de la PLMB deberá hacerse sobre un proyecto optimizado, más conveniente para la ciudad, que reconozca la nueva visión del Metro y de los componentes del Sistema de Transporte Masivo de la ciudad.

La justificación de realizar este nuevo enfoque al proyecto se basa en la necesidad encontrada por el Gobierno Nacional y el Distrito de optimizar el diseño original de la Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB, en los siguientes aspectos principales:

- Maximizar las ideas surgidas durante el proceso de Ingeniería de Valor realizado por la Financiera Desarrollo Nacional en el primer semestre del año 2015.
- Considerar la devaluación que ha sufrido la moneda local frente al dólar americano, que ha causado un aumento en el costo del proyecto.
- Generar beneficios que se verán reflejados en una mejora del Sistema de Transporte Masivo de la ciudad, movilizando un mayor número de pasajeros, con mayor calidad, pero sin exceder las restricciones fiscales de la Nación y el Distrito, para financiar esta nueva oferta de infraestructura.

Teniendo en cuenta lo anterior, este capítulo resume el estudio de alternativas realizado por SYSTRA en el marco del “Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de Metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio”.

El estudio compara sistemáticamente las alternativas posibles acorde con la tecnología, el diseño y la operación del proyecto propuesto. El documento incluye alternativas para mitigar los impactos ambientales y sociales.

6.2 OBJETIVO

Este informe presenta los resultados de las actividades desarrolladas en el marco del Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de Metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio.

En la primera actividad de estudio « Arranque de proyecto y estudio de referencias internacionales » se enfocaron las tareas de inicio del estudio: acuerdo sobre el plan de trabajo y el cronograma, recopilación de datos, actividades de sensibilización y el benchmarking sobre el análisis comparativo de 5 líneas de Metro pesados elevados en el mundo.

Se trata ahora de estudiar, evaluar y comparar las alternativas de proyecto que más optimicen el diseño de la PLMB, así como las nuevas troncales de Transmilenio, tanto desde un punto de vista social como económico. El objetivo final consiste en definir la alternativa de trazado y de infraestructura de Metro más recomendable.

6.3 METODOLOGÍA DESARROLLADA

Las alternativas del proyecto estudiadas y la elegida posteriormente se han concebido como parte de una red integral de transporte incluyendo proyectos para nuevos corredores del Sistema Transmilenio conjuntamente al proyecto de PLMB.

Se entiende como “alternativa” una solución integral compuesta, de una parte, por una primera línea de metro, más sus estaciones sencillas y de intercambio modal y, en todos los casos todas las troncales de Transmilenio proyectadas y las existentes. Cada alternativa se ha construido buscando la maximización de los beneficios de la inversión a mediano (2030) y largo plazo (2050), aunque la oferta de transporte propuesta no crece más allá del horizonte de 2030.

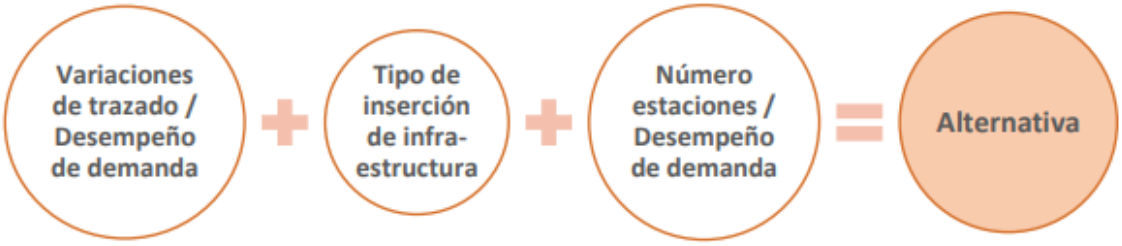


Figura 6.1 Proceso iterativo de definición de alternativas

6.3.1 Proceso de optimización de estaciones

En primer lugar, el proyecto de línea desarrollado por el Consorcio CL1 consideraba 27 estaciones, es decir una estación por cada kilómetro de trazado. En el estudio desarrollado por SYSTRA se redujeron a 22 estaciones (distancia inter estaciones de 1.17 km). Adicionalmente, SYSTRA propuso reducir aún más el número de estaciones con el fin de llegar a una distancia inter

estaciones promedio de 1.3 km (19 estaciones, distancia media de caminata de 650 m). Para llegar a definición se realizó un proceso iterativo que se presenta en la siguiente figura:

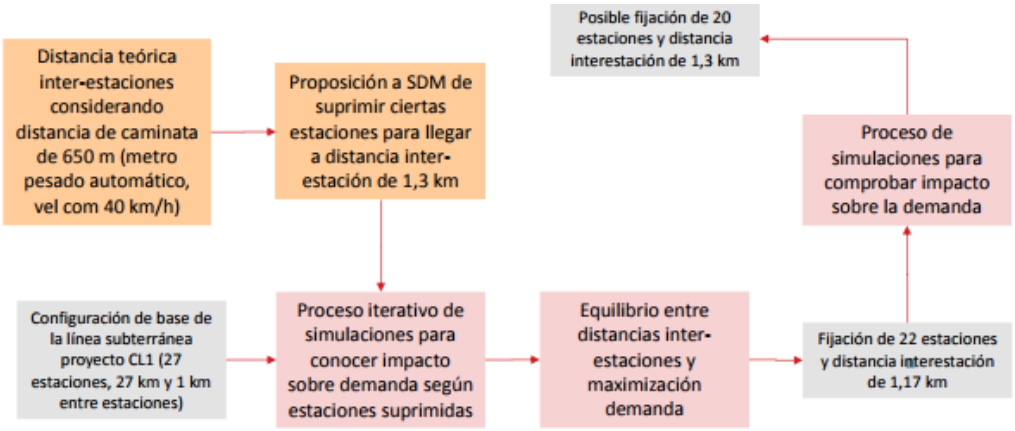


Figura 6.2 Proceso iterativo de optimización del número y posición de estaciones

A continuación se presenta el conjunto de estaciones definidas en conjunto con el Comité de seguimiento de la consultoría (CSC), la Secretaria Distrital de Movilidad (SDM) y SYSTRA para el proceso de comparación multicriterio de las alternativas, con indicación de las estaciones subterráneas y las elevadas, las cuales dependen de la configuración de la infraestructura propuesta para cada caso.

Tabla 6.1 Síntesis de las estaciones por cada alternativa (en rosa estaciones subterráneas y en verde estaciones elevadas)[1]

BASE	BASE MOD	A.1	B.1 y B.2	C.1 y C.2	D.1 y D.2
PORTAL AMÉRICAS	PORTAL AMÉRICAS	PORTAL AMÉRICAS	PORTAL AMÉRICAS	PORTAL AMÉRICAS	PORTAL AMÉRICAS
CASABLANCA					
VILLAVICENCIO	VILLABLANCA	VILLABLANCA	VILLABLANCA	VILLABLANCA	VILLABLANCA
PALENQUE	PALENQUE	PALENQUE*	PALENQUE	PALENQUE	PALENQUE
KENNEDY	KENNEDY	KENNEDY	KENNEDY	KENNEDY	KENNEDY
BOYACÁ	BOYACÁ	BOYACÁ	BOYACÁ	BOYACÁ	BOYACÁ
1RO MAYO					
AV 68	AV 68	AV 68	AV 68	AV 68	AV 68
ROSARIO	ROSARIO	ROSARIO	ROSARIO	ROSARIO	ROSARIO
NQS	NQS	NQS	NQS	NQS	NQS
SANTANDER	SANTANDER	SANTANDER	SANTANDER*	SANTANDER*	SANTANDER*
NARIÑO	NARIÑO	NARIÑO	NARIÑO*	NARIÑO*	NARIÑO*
HORTÚA	HORTÚA	HORTÚA	CALLE 6	CALLE 6	CALLE 6
SAN VICTORINO	SAN VICTORINO	SAN VICTORINO	CALLE 13	CALLE 13	CALLE 13
LIMA	LIMA	LIMA	CALLE 19	CALLE 19	CALLE 19
LA REBECA	LA REBECA	LA REBECA	CALLE 26	CALLE 26	CALLE 26
PARQUE NACIONAL					
GRAN COLOMBIA	GRAN COLOMBIA	GRAN COLOMBIA	GRAN COLOMBIA	CALLE 45	CALLE 45
MARLY				MARLY	MARLY
STO TOMÁS	STO TOMÁS	STO TOMÁS	STO TOMÁS		
PLAZA LOURDES	PLAZA LOURDES	PLAZA LOURDES	PLAZA LOURDES	PLAZA LOURDES	CALLE 63
AV CHILE	AV CHILE	AV CHILE	AV CHILE	AV CHILE	CALLE 72
CALLE 85	CALLE 85	CALLE 85	CALLE 85	CALLE 85	CALLE 85
PARQUE 93					
CALLE 100	CALLE 100	CALLE 100	CALLE 100	CALLE 100	CALLE 100*
USAQUÉN	USAQUÉN	USAQUÉN	USAQUÉN	USAQUÉN	CALLE 106
CLL 127	CLL 127	CLL 127	CLL 127	CLL 127	CLL 127*
27	22	22	22	22	22

Fuente: SYSTRA

[1] Las alternativas son agrupadas por familias en donde presentan una demanda casi idéntica. Ej.: A.1 Alternativa 1 de la Familia A; B.1 Alternativa 1 familia B.

6.3.2 Proceso de caracterización de la demanda con fines de comparación de las alternativas

Una vez definido el conjunto de estaciones unificado para cada una de las alternativas de trazado e infraestructura, la Secretaría de Movilidad (SDM) de la Alcaldía de Bogotá realizó las simulaciones de los desplazamientos en el modo transporte público para la hora pico al horizonte de 2030, plazo en el cual se considera que la oferta prevista puede ser completada

En primer lugar la Secretaría de Movilidad (SDM) revisó a la baja las expectativas del crecimiento de la demanda para la línea de metro que habían sido adoptadas en el proyecto precedente del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1:

- Se ha identificado que el proyecto anterior consideraba una tasa muy alta de trasbordos entre los sistemas de buses con la línea de metro;
- Se ha utilizado un modelo de 4 etapas que toma en consideración el patrón de movilidad del transporte privado y público y las posibilidades de transferencia modal por causa de mejores condiciones de los desplazamientos en transporte público.
- La proyección de viajes de la ciudad en la HP (Hora pico) se ajustó con base en las proyecciones de población y la motorización
- Se ha considerado un incremento de la oferta de transporte masivo mediante la incorporación de nuevas troncales de Transmilenio, las cuales constituyen una red integral de transporte masivo para la ciudad de Bogotá complementadas con la oferta del SITP (Sistema Integrado de Transporte Publico) y con una tarifa integrada para los tres sub-modos de transporte público. Parte de la nueva oferta de nuevas troncales tiene como función adicional de ser alimentadoras al sistema metro.

Las troncales Transmilenio consideradas en la red integral son las siguientes:

Tabla 6.2 Troncales de BRT de la red integrada considerada en la oferta de TC de 2030 – Fuente: SDM, Julio, 2016

Troncales actuales	Nuevas troncales a 2030
Av. Caracas	Carrera 7ª
Autonorte	Av. Villavicencio
NQS	Carrera 68
Av. Suba	Av. Boyacá
Calle 26	Av. Ciudad de Cali
Calle 80	Av. Gaitán Cortés
Calle 13	Calle 170
Carrera 10ª	Calle 127
Av. Américas	Calle 100
	Calle 63
	Prolongación Cll. 13

Fuente: SYSTRA

Por otro lado, este proceso de revaluación de la demanda, del número y ubicación de estaciones para la PLMB permitió generar los escenarios de transporte comparables para el desarrollo del análisis multicriterio de las diferentes alternativas. La alternativa correspondiente al proyecto original CL1, fue modificada consecuentemente en estos dos aspectos (estaciones, nivel de demanda) para poder compararla con los demás.

6.4 ALTERNATIVAS

6.4.1 Situación Actual

Bogotá cuenta con una población cercana a 8,08 millones de habitantes y un crecimiento poblacional de 1,37 % anual en promedio (Departamento Nacional de Estadística –DANE). Según información de la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) de 2015[2] en la ciudad, en conjunto con sus municipios vecinos, se realizan en promedio al día 17,2 millones de viajes, de los cuales 14,9 millones se realizan dentro de Bogotá. De estos el principal modo de transporte corresponde al transporte público con 5,8 millones (39,2%). Entretanto, los viajes en motocicleta y automóvil tienen una participación del 20,6% y los viajes a pie del 31,1%. A pesar de la participación mayoritaria del modo transporte público en la movilidad de la ciudad se ha venido presentando en los últimos años un aumento generalizado de los tiempos de viaje, los cuales pasaron en promedio de 52,6 minutos en 2005 a 61,4 minutos en 2015, debido principalmente al aumento en tenencia y uso de vehículos particulares y a la saturación que está presentado el sistema de transporte masivo Transmilenio.

Estas dos dinámicas tenderán a seguir aumentando a futuro, por lo cual es lógico anticipar un crecimiento propio y de todas sus externalidades negativas relacionadas, como lo son el aumento en la emisiones de contaminantes locales y de GEI, la accidentalidad vial, el tiempo de viaje y en general la insatisfacción de los usuarios con la movilidad y el sistema de transporte público de la ciudad.

En los últimos años el parque automotor de vehículos particulares pasó de 895.293 en el 2008 a 1.616.859 en el 2016, es decir un aumento del 81%. Así mismo, las motocicletas han tenido un crecimiento más pronunciado, pasando de 140.485 en 2008 a 469.559 en 2016, más del 200% en menos de una década[3]. Aun cuando las tasas de motorización para autos y motos se encuentran por debajo de 200 vehículos por cada 1000 habitantes, se espera que sigan creciendo de manera significativa impulsadas por el aumento en el nivel de ingreso de la ciudad.

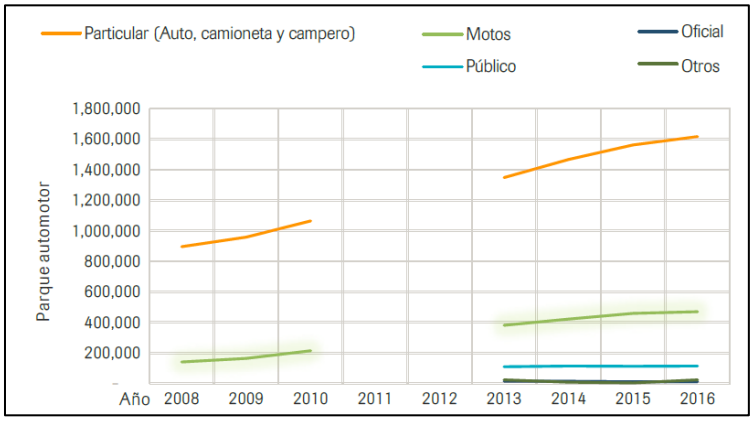


Figura 6.3 Incremento parque automotor 2008 - 2016

Fuente: Tomada de Observatorio de Movilidad, Balance de Movilidad 2007-2016. Universidad de los Andes – CCB / SDM con base en datos de Tabla Servicios integrales para la movilidad – SIM, 2016, SDM.

[2] Encuesta de Movilidad 2015 – Secretaría Distrital de Movilidad/Transconsult/Infométrika
[3] Observatorio de Movilidad, Balance de Movilidad 2007-2016. Universidad de los Andes – Cámara de Comercio de Bogotá

Los aumentos en las tasas de motorización de autos y motos se han traducido directamente en un mayor uso de estos vehículos y por lo tanto en mayores niveles de congestión en la red vial, generando también una afectación al servicio de transporte público en buses. De acuerdo con datos de SDM, su velocidad promedio pasó de 19,2 km/h en 2010 a 16,6 km/h en 2015, que significa un aumento en promedio de 24,3 minutos de tiempo de viaje por persona para los usuarios de estos modos.

En la relación a esto, la demanda en el transporte masivo (viajes en sistema Troncal Transmilenio), en los últimos 10 años ha presentado una tasa de crecimiento promedio anual cercana al 8%, debido también a la captación de usuarios afectados por los niveles de congestión de vehículos particulares y buses, y ha alcanzado en 2017, 2,32 millones de viajes diarios en promedio. Lo anterior, sumado a que el sistema no ha ampliado su infraestructura a la par que el crecimiento de la demanda, se ha traducido en un estado de saturación con altos índices de congestión en estaciones, demoras adicionales en las frecuencias de los servicios y vulnerabilidad de la operación del sistema frente a cualquier interrupción del servicio.

Se estima que, en la hora pico de la mañana, ciertas troncales del sistema, principalmente la Avenida Caracas, operan al límite de su capacidad con cerca de 53.000 pasajeros por hora por sentido. Así mismo, los efectos en esta troncal afectan otras líneas ya que la Avenida Caracas es el eje que comunica la mayoría de líneas del sistema.

Esta suma de factores ha producido, de acuerdo con el Observatorio de Movilidad[4], que la satisfacción de los usuarios frente al transporte público haya decaído en los últimos años, lo que ha llevado a que cada vez más personas se inclinen por utilizar modos de transporte motorizados individuales, principalmente la moto.

De acuerdo con los resultados de la encuesta de percepción sobre las condiciones y la calidad del servicio de transporte público en la ciudad, realizada por la Cámara de Comercio de Bogotá en el año 2016, el 65% de los usuarios encuestados de Transmilenio, el 70% de TPC y el 68% del SITP zonal, consideraron que el servicio prestado desmejoró en el 2016. Con respecto a los aspectos negativos, el exceso de pasajeros continúa siendo factor que genera mayor inconformidad en los usuarios de Transmilenio en el 2016. Como segundo aspecto negativo, los usuarios manifestaron incomodidad con el servicio en el 2013, inseguridad en el 2014 y 2015, y la falta de buses en el 2016. Este ciclo de reducción en la calidad del transporte público y el aumento en el uso de los vehículos particulares crea una tendencia de uso de modos no sostenible que incrementa, aparte de la congestión y los tiempos de viaje, la generación de externalidades negativas como emisión de contaminantes al ambiente y la accidentalidad vial asociada a estos modos.

De acuerdo con lo establecido en el Plan de Acción Sectorial de Mitigación (PAS)[5], el sector transporte participa con el 4% en el PIB nacional y es el de mayor consumo de energía en el país, demandando el 35% del total de los derivados del petróleo (373,000 TJ en el año 2009). En términos de emisiones de GEI, el sector aporta el 12% al inventario nacional (20 millones de toneladas, al año 2009) y el subsector de transporte urbano de pasajeros es responsable por el 39% de dicha cantidad.

En la siguiente figura, se puede observar, como de acuerdo con los escenarios modelados en el PAS Sector Transporte, se estima un incremento en las emisiones de Gases Efecto de Invernadero

[4] Publicación número 10 del Observatorio de Movilidad. Balance de Movilidad 2007-2016 Reporte Anual de Movilidad 2016. Cámara de Comercio de Bogotá y la Universidad de Los Andes.

[5] Los Planes de Acción Sectorial de Mitigación para el Cambio Climático (PAS) son un conjunto de acciones, programas y políticas, que permitirán reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) frente a una línea base de emisiones proyectadas en el corto, mediano y largo plazo.

(GEI), resaltándose la participación del transporte privado, tanto de vehículos particulares como de motos debido al aumento esperado en las tasas de motorización.

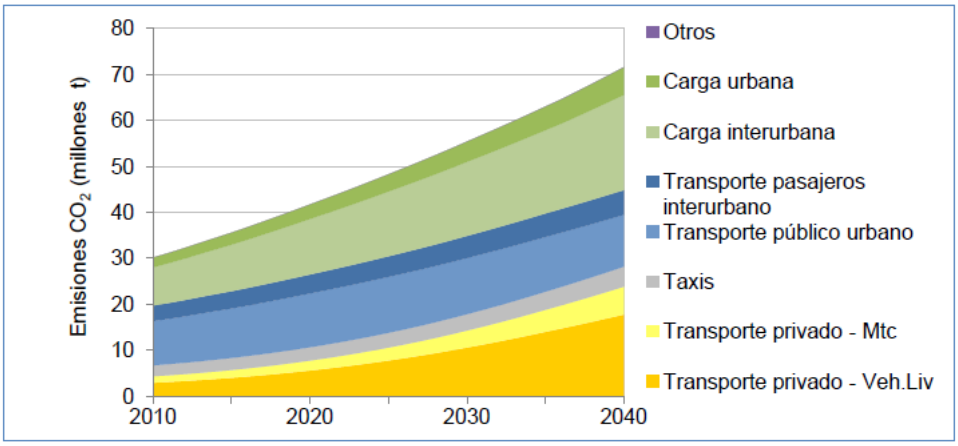


Figura 6.4 Emisiones de GEI del Sector transporte en Colombia proyectadas al año 2040

Fuente: UniAndes (2013). Plan de Acción Sectorial Sector Transporte.

Según las Directrices de la Organización Mundial de la Salud sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005, con una reducción de la contaminación con partículas (PM10) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico (µg/m) es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire. Según el estudio "La carga por las enfermedades no transmisibles en Colombia", del Ministerio de Salud, en el 2010 murieron 209 personas, asociadas a enfermedades prevenibles como consecuencia de la contaminación ambiental que desencadena la congestión vehicular. Adicionalmente, establece que mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.

En materia ambiental, dentro de los contaminantes, el PM10 ha sido el de mayor importancia debido a su alta excedencia en la ciudad de Bogotá y a los efectos que tiene en la salud pública, especialmente en la población infantil y en los adultos mayores que son los más vulnerables a las enfermedades respiratorias. Sin embargo, a pesar de evidenciarse una tendencia decreciente de la concentración promedio anual de PM10 desde el año 2008, las tendencias en un escenario do-nothing (sin hacer ninguna intervención) muestran con preocupación un aumento a futuro.

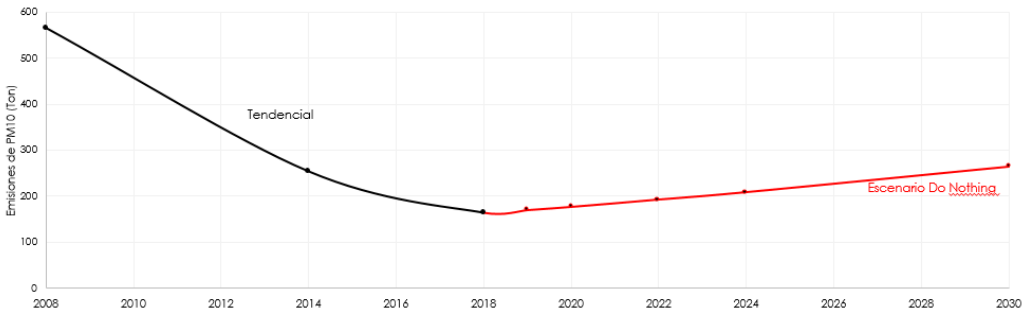


Figura 6.5 Tendencia y proyecciones de emisiones de PM10 2008-2030

Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad, 2018

Así mismo, en Bogotá el incremento del flujo vehicular no ha podido ser acompañado por la ampliación adecuada de la red vial. La circulación de un gran volumen de vehículos sobre corredores viales insuficientes y con amplios sectores en condiciones deficientes se convierte en un factor que contribuye al deterioro de la calidad del aire, debido a las emisiones contaminantes de los vehículos, asociadas a las bajas velocidades de circulación. La reducción de la velocidad derivada de la congestión es especialmente nociva en lo que respecta a CO, pues significa un incremento del 80% de la emisión por km cuando se disminuye la velocidad promedio de viaje de 20 km/h a 10 km/h. Otros contaminantes críticos por la reducción de la velocidad son los hidrocarburos, pues la reducción de 20km/h a 10 Km/h, significa un incremento de las emisiones cercano al 50%[6].

A nivel de ruido, la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá establece que en la ciudad las fuentes móviles (tráfico rodado, tráfico aéreo, perifoneo) aportan el 60% de la contaminación auditiva. El 40% restante corresponde a las fuentes fijas (establecimientos de comercio abiertos al público, pymes, grandes industrias, construcciones, etc.). Esta exposición continua al ruido no está directamente asociados a la pérdida de la audición, pero si a la alteración de la tranquilidad y bienestar de las personas, generando entre otros, estrés, perdida del sueño, ansiedad, depresión, cambios en el comportamiento y baja productividad.

Finalmente, frente a la accidentalidad, el número de muertos de usuarios de motos sigue en aumento. De 96 casos fatales en el 2009 se pasó a 204 casos en el 2016, incrementándose en 112%. Los motociclistas representan el 35% de las muertes reportadas por accidentes de tránsito. Así mismo, los lesionados pasaron de 583 en el 2009 a 2.488 en el 2016. Estas cifras indican que cada dos días en la ciudad hay un motociclista muerto y diariamente siete lesionados.

En relación con los vehículos privados, en el 2016, se presentó el menor registro desde el 2009, con siete víctimas fatales, disminuyendo un 70% con respecto al 2015 y 74% respecto al 2012, año en el cual se registró el mayor número de muertes.

En cuanto a lesionados, la cifra no tuvo un cambio significativo en 2016 con respecto al 2015, al pasar de 352 a 350. Entre el 2009 y el 2016, han resultado lesionados 1.356 hombres y 1.484 mujeres, correspondientes al 48% y 52%, respectivamente. En el 2013 se presentó el mayor número de lesionados en vehículo particular, aumentando 50% con respecto al 2012. En tanto, en el 2011 se presentó el menor registro, con 272 lesionados.

Según las datos sobre sobre la movilidad en la ciudad y sus impactos, es importante evidenciar la dinámica existente en el cual el deterioro continuo en el servicio de transporte público ha disminuido su atractividad como opción que contrarreste el aumento significativo de los usos de autos y motos, así como ha afectado a sus usuarios actuales que cada vez consideran que el sistema está prestado un mal servicio y ha reducido su efectividad para ofrecer mejores tiempos de viaje.

Por lo anterior, es prioritario aumentar la cobertura y robustecer la capacidad de la red actual de transporte masivo de la ciudad para primordialmente mejorar las condiciones de viaje de los usuarios actuales, pero también que se convierta en el modo principal de la ciudad que permita mantener la participación del transporte público en los viajes diarios, contribuya a mitigar el uso de vehículos privados, la reducción de la accidentalidad, las emisiones de contaminantes y de gases efecto de invernadero.

En este sentido, y mediante el estudio desarrollado por SYSTRA se compararon diferentes alternativas de trazado con la tipología de la infraestructura (i.e. subterránea, elevada, etc.). De esta manera, se definieron las alternativas haciendo variar el rango de la longitud entre

[6] Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital, que incluye el ordenamiento de estacionamientos

subterráneo y viaducto. Las alternativas son agrupadas por familias. Una familia de alternativas es un conjunto de alternativas que presentan una demanda casi idéntica.

Las alternativas fueron formuladas, a partir del proyecto de trazado e infraestructura del proyecto original CL1, el cual aparece en la Figura 6.6.

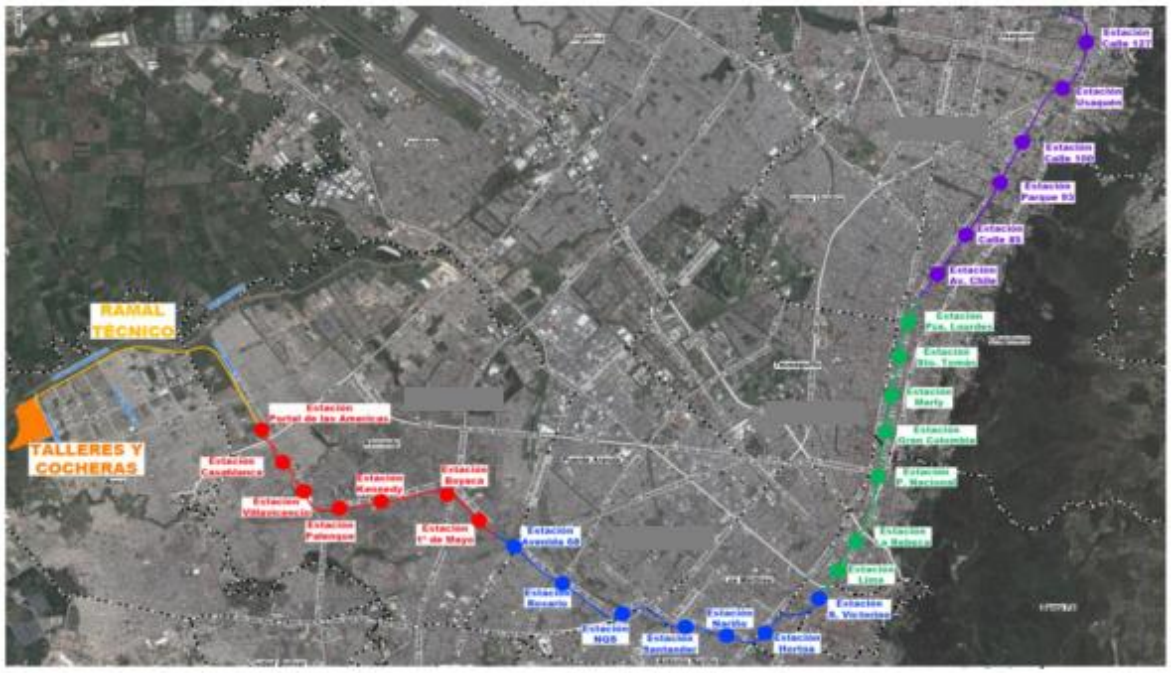


Figura 6.6 Trazado original CL1 con inserción subterránea - Fuente: SYSTRA

6.4.2 Características de las alternativas propuestas

Teniendo en cuenta que las alternativas tienen todas trazados bastante similares al trazado original con la excepción de unas variantes locales específicas. Las diferencias entre familias y dentro de una misma familia se basan sobretodo en el proceso constructivo elegido y en los tramos identificados para cada tipo de proceso constructivo. Los procesos constructivos pueden ser de tipo elevado (viaducto) o de tipo subterráneo (en túnel con TBM o trinchera entre pantallas). Todas las alternativas se comparan entre la estación Portal Américas y la estación Calle 127 dejando fuera de la comparación el ramal técnico de 5 km elevados por cuanto hasta la fecha de edición de este informe la administración distrital y la Financiera de Desarrollo Nacional (FDN) no han tomado la decisión sobre la localización del patio-taller.

Las características de cada alternativa se pueden ver en la tabla presentada a continuación. Para cada una, se detallan: el tipo de infraestructura, su longitud por proceso constructivo y el número de estaciones por proceso constructivo.

Tabla 6.3 Síntesis de las principales características de las alternativas por familias

Familias Modela-ción	Alternati.. Multi-criterio	Características								
		Tipo de infraestructura		Longitud de la línea				N° estaciones		
		Tramo 1	Tramo 2	Ml túnel TBM	Ml túnel trinchera	Ml viaducto	Ml Total	Elevada	Subterr.	Total
A	Alt. Base Modif.	Subterr.	Subterr.	23 570,0	3 493,0	0,0	27 063,0	0	22	22
	A.1	Elevado	Subterr.	14 184,4	4 101,0	8 827,6	27 113,0	7	15	22
B	B.1	Elevado	Subterr.	6 949,6	4 043,1	15 859,8	26 852,5	14	8	22
	B.2	Elevado	Subterr.	6 949,6	4 043,1	15 681,2	26 673,9	14	8	22
C	C.1	Elevado	Parcial subterr. elevado	4 766,0	3 507,3	18 572,6	26 845,9	16	6	22
	C.2	Elevado	Parcial subterr. elevado	4 766,0	3 507,3	18 394,4	26 667,7	16	6	22
D	D.1	Elevado	Elevado	0	0	25 829,1	25 829,1	22	0	22
	D.2	Elevado	Elevado	0	0	25 650,9	25 650,9	22	0	22

Fuente: SYSTRA

6.4.3 Trazado geométrico

6.4.3.1 Recopilación, inventario y análisis de la información

A continuación precisa los datos de entrada puestos a disposición y empleados para la concepción del trazado a escala 1:5000 para el estudio de alternativas.

Tabla 6.4 Lista de información disponible recibida para ejecutar el trazado geométrico

INFORMACIÓN	ARCHIVO	OBSERVACIONES
DATOS TOPOGRAFICOS		
Topografía de detalle de los estudios de 2013	XR_TAQUIMETRICO_TR-01.dwg XR_TAQUIMETRICO_TR-02.dwg PLMB_2D.dwg (todos los tramos)	Sistema MAGNA Sirgas
Ortofoto	ORTOFOTO.dwg con mos_bog25cm_09_10.ecw	Sistema distinto a MAGNA Sirgas, desplazado: (X+899997m,Y+900003m) Ortofoto desactualizada en ciertos puntos
Topografía Caracas	Topografia Caracas.dwg	Sistema distinto a MAGNA Sirgas, desplazado: (X+899997m,Y+900003m) Similar a la Ortofoto
PROYECTOS CONCOMITANTES		
Sistema BRT	PPT 2016.05.26.dwg	Sistema distinto a MAGNA Sirgas

Se toma como referencia la topografía de detalle de los estudios de 2013, Los demás datos disponibles cuentan con coordenadas distintas por lo cual se han trasladado a la topografía de referencia.

6.4.3.2 Objetivo

El objeto de la actividad de trazado geométrico de las alternativas es el de identificar la factibilidad técnica de la inserción de las alternativas contempladas en el análisis multicriterio, en el marco de la Actividad 2. Específicamente se busca:

- Precisar los tramos y familias de alternativas;
- Identificar las posibilidades técnicas para la inserción de la transición de infraestructura elevada a infraestructura subterránea;
- Presentar los condicionantes para la inserción del trazado aéreo;
- Analizar la inserción del viaducto por tramos identificando las singularidades.

El detalle del trazado geométrico para cada alternativa identificada se presenta en el Anexo 6.11.1.

6.4.3.3 Enfoques técnicos del estudio del trazado de las alternativas

Se analizan las alternativas de trazado, siempre con una visión de planeación a largo plazo, es decir considerando la posibilidad de su prolongación hacia el norte de acuerdo con lo establecido en las simulaciones de la SDM. Esas alternativas al trazado original son analizadas considerando:
• Su factibilidad en términos técnicos de trazado y de adecuación de la infraestructura buscando: o

- La mayor integración urbana posible con las condiciones existentes y futuras
- La mayor conectividad operacional con el sistema BRT
- Garantizar la calidad de explotación de la futura línea de metro

• Las posibilidades de localización para la transición de una solución elevada a la solución subterránea definida en el Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1.

6.4.3.4 Condiciones para la inserción

6.4.3.4.1 Hipótesis de diseño

Se fijan las siguientes hipótesis de diseño adoptadas para el desarrollo de la concepción de la inserción del trazado en viaducto y su enlace con los tramos subterráneos, basándose en las características básicas del sistema metro contempladas en el “Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1”.

Tabla 6.5 Hipótesis para desarrollar el trazado geométrico de las 4 familias de alternativas

PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
SISTEMA METRO		
Velocidad máxima	90km/h	
Galibo estático MR	3,20m	Como en estudio de 2013.
Entre-eje	3,90m	Como en estudio de 2013.
Trazado en planta: Radio mínimo Longitud mínima de los elementos	 250m 400m recomendable 20m 30m recomendable	En función de la problemática específica en ciertas curvas en relación a la afectación predial, se puede contemplar la reducción excepcional del radio a 200m o 150m: ➔ Impacto negativo sobre la calidad de explotación: velocidad, mantenimiento, confort.
Andenes: Longitud Distancia a curva horizontal Distancia horizontal nariz de andén / eje de vía Distancia vertical andén / plano de rodadura	 150m 15m 1,72m 1,10m	Privilegiar estación en recta.
Transición infraestructura elevada a subterránea (ver §3.2): Anchura / Longitud Pendiente longitudinal máxima	 14m / ≈1Km 4%	La longitud de la transición varía en función de la diferencia de nivel a obtener entre el viaducto y el túnel.
INTEGRACIÓN URBANA VIADUCTO		
Z plano de rodadura // suelo: En sección normal Con pasarela peatones En estación	 9m 11,5m 14,5m	
Distancia entre borde del viaducto y la fachada	10m 7m excepcional	Se considera en esta etapa de estudios una anchura del tablero de 10,5m.
Espacio para barrera entre pila viaducto y calzada	0,75m mínimo ➔ 3,5m mínimo de separador central	Dispositivos de seguridad posibles: Barrera concreto clásica → menor permeabilidad entre espacios Barrera de concreto siguiendo contorno pila
SISTEMA VIARIO		
Ancho de la calzada	3,50m (X1) 7m (X2)	Valores de referencia tomados en cuenta cuando se impacta vialidad existente. Sino, ancho existente.
Gálibo vertical	5,50m	

Con estas premisas se dimensionan las secciones de implantación que permiten evaluar la factibilidad de inserción del viaducto, la trinchera e impactos en los ejes viarios analizados en el presente estudio. Se trata de secciones típicas. En particular, la tipología presentada para el viaducto y estaciones corresponde a un concepto de base "típico" que permite evaluar la factibilidad de la inserción del trazado. El análisis más detallado se desarrolla en Entregable 4.

6.4.3.4.2 Zona de transición

Las zonas de transición consisten en la finalización del tramo del viaducto para enlazar con la solución subterránea del proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1. Por un lado, se ha considerado la longitud necesaria para efectuar la transición de tipo de infraestructura: a partir de la cota nominal de la vía en viaducto, se desciende hacia el nivel de calle (nivel 0) mediante una rampa, que continua primero en trinchera abierta, luego en trinchera cubierta hasta alcanzar la cota nominal de la vía en subterráneo. Esta transición genera una cicatriz urbana que crea una barrera física importante y quita espacio a otros usos viarios y urbanos.

En esta fase del estudio se han adoptado las mismas hipótesis de diseño para todas las alternativas. Estas son las citadas en la tabla presentada atrás. Además se ha hecho una hipótesis sobre la cota de vía inicial y final, para poder determinar la longitud aproximada de la transición: de +14,5m (cota nominal estación adoptada en el presente estudio) hasta -20m (cota basada en los valores identificados en el Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1). A continuación se presenta un esquema con los diferentes segmentos de la transición.

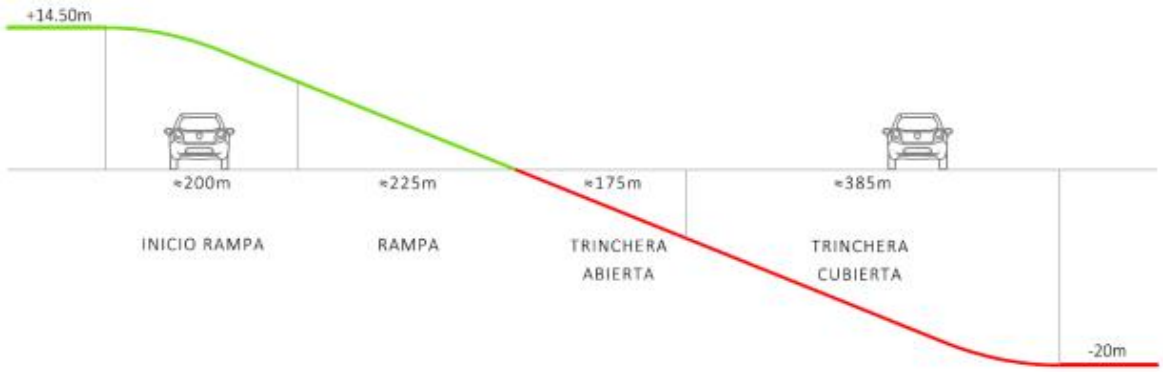


Figura 6.7 Croquis de zona de transición infraestructura, sentido longitudinal – Fuente: SYSTRA

Además de la transición de la infraestructura, otro aspecto considerado es la factibilidad de una cola de maniobras, en el contexto de una ejecución por fases. Este análisis previo se ha de confrontar a un estudio de explotación que va a definir la configuración y necesidades espaciales de la cola.

6.4.4 Identificación de alternativas

A continuación se presentan las familias de alternativas así como las posibilidades de terminación del Tramo 1 que corresponde a la zona de transición de la solución en viaducto a la solución subterránea que corresponde al proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1.

El trazado de todas las alternativas inicia sobre el Canal Tintal II a partir de la estación Portal Américas en las inmediaciones del predio Gibraltar al Oeste de la ciudad y finaliza en la Calle 127 al Norte de la ciudad.

6.4.4.1 Alternativas de tipo A

Son aquellas alternativas que se acercan al diseño original del proyecto CL1 desde el punto de vista de su trazado, desde Portal Américas hasta Calle 127. Dado el planteamiento metodológico de comparación de las diferentes alternativas con mismas características de prestación del servicio de transporte, para constituir las características de esta familia de alternativas se consideran 5 estaciones menos con respecto a la propuesta del proyecto CL1. El desempeño del servicio de transporte de este ajuste fue probado mediante un proceso de simulaciones realizado por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM)

6.4.4.1.1 Alternativa Base Modificada

La primera alternativa es la Alternativa Base Modificada. Es idéntica al diseño original - trazado y proceso constructivo subterráneo – con excepción del número de estaciones. Esta Alternativa Base Modificada incluye además una mejora en el proceso constructivo que fue identificada en el estudio de ingeniería de valor realizado para la FDN en 20152[7]: proceso constructivo subterráneo con tuneladora entre estaciones Calle 45 (Gran Colombia) y Calle 85, según recomendaciones de la ingeniería de valor, y desde allí hasta la estación Calle 127 con proceso constructivo subterráneo con trinchera entre pantallas, en vez de proceso constructivo de trinchera entre pantallas entre la Calle 45 hasta la Calle 127. Esta mejora se mantiene para todos los tramos subterráneos de todas las alternativas.[8]

La Alternativa Base Modificada cuenta con un 100% de trazado subterráneo.

[7] Consultoría para realizar un estudio de ingeniería de valor para el proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá para optimizar el valor del proyecto (funcionalidad y costos) propuesto desde una perspectiva de ciclo de vida y abordando aspectos de diseño, construcción por fases, cronograma y riesgos, con el objetivo de optimizar el retorno socioeconómico de la inversión. SENER-FDN, Junio 2015

[8] Las figuras 5, 6 y 7 presentadas a continuación todavía presentan la infraestructura de trinchera entre pantallas desde el sector de Gran Colombia, sin embargo su análisis de costos es el determinado por la ingeniería de valor, es decir trinchera entre pantallas a partir de la Calle 85

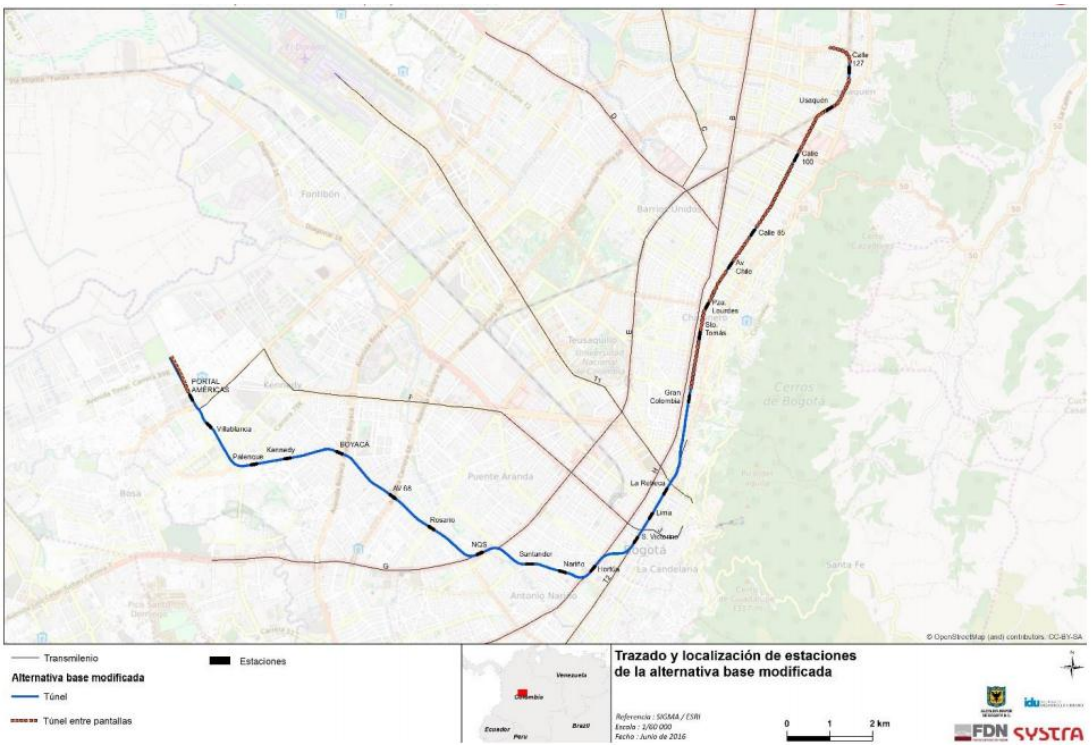


Figura 6.8 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa base modificada (configuración subterránea original del proyecto del CL1) – Fuente: CL1

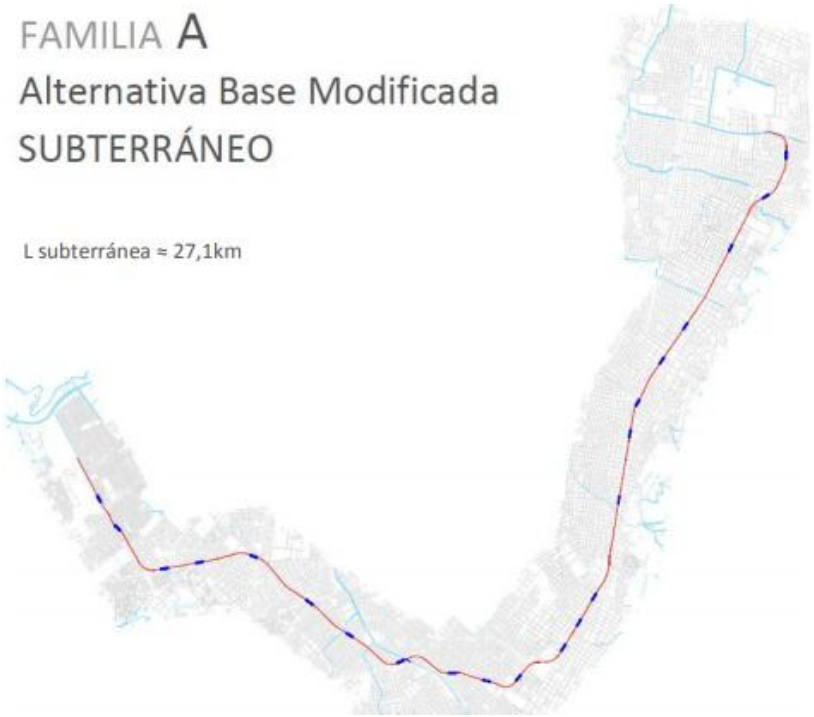


Figura 6.9 Alternativa Base Modificada – Fuente: SYSTRA

6.4.4.1.2 Alternativa A.1

La segunda alternativa de esta familia es la Alternativa A.1. La diferencia con la alternativa base modificada reside en el proceso constructivo adoptado para el primer tramo del trazado y que corresponde a otra modificación propuesta en el estudio de ingeniería de valor realizado para la FDN en 2015: inserción de infraestructura elevada entre la estación Portal Américas y un punto entre la estación Rosario y estación NQS donde se realiza la transición hacia infraestructura subterránea con proceso constructivo de tuneladora.

La Alternativa A.1 cuenta de esta manera con un 32% del trazado elevado y un 68% del trazado subterráneo.

El número de estaciones (22), el trazado y el número de pasajeros transportados son idénticos cualquier sea la alternativa A considerada.

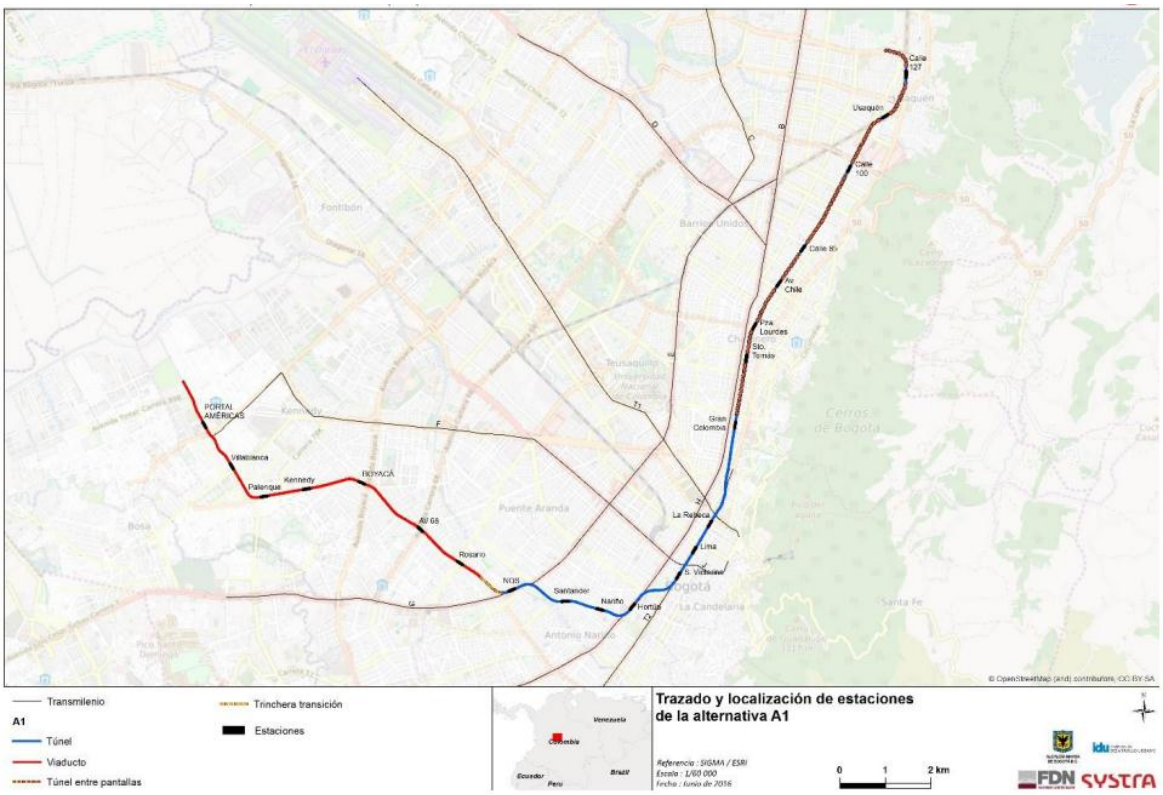


Figura 6.10 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa A.1 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) – Fuente: SYSTRA-CL1

La alternativa A.1 inicia con un tramo elevado con 7 estaciones. La zona de transición se ubica entre las estaciones Rosario y NQS, y enlaza con el trazado subterráneo del proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1 con 15 estaciones.

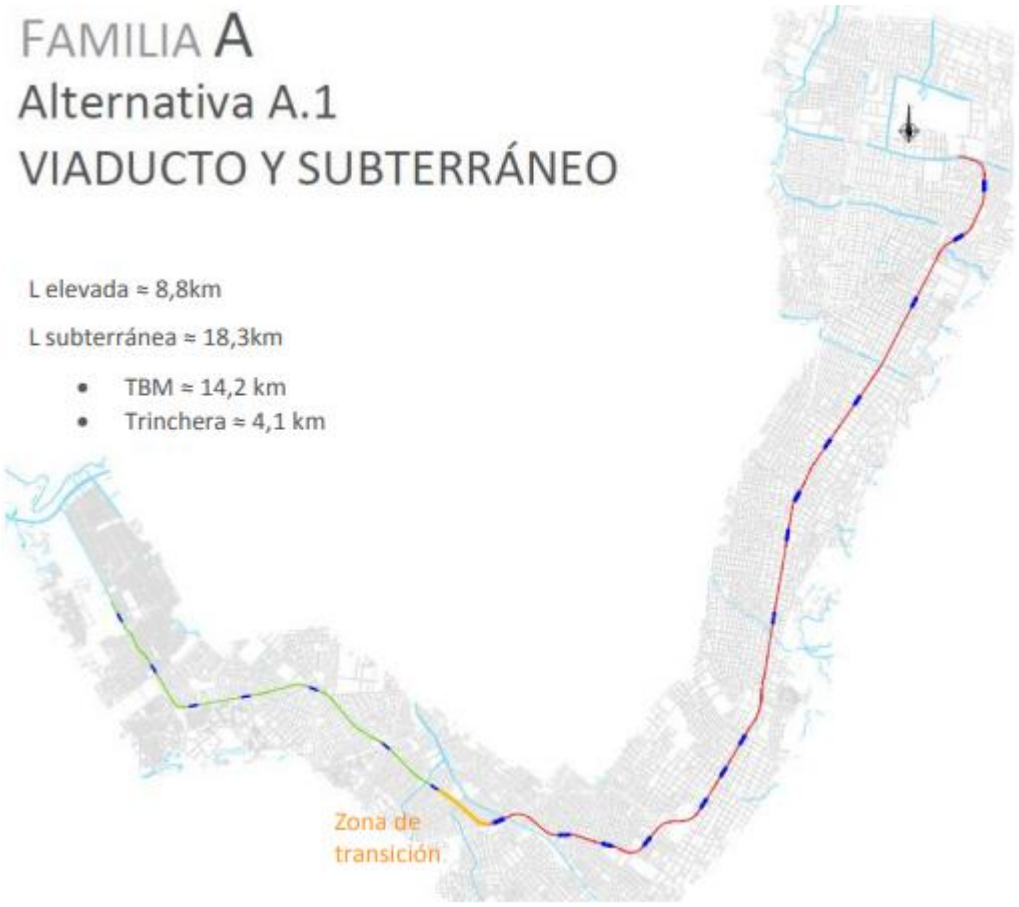


Figura 6.11 Alternativa A.1 – Fuente: SYSTRA

- **Tramo en viaducto**

El trazado en planta sigue el mismo corredor que el trazado en subterráneo desde el origen hasta la estación Rosario, y se ha adecuado para posibilitar la inserción de la infraestructura en el viario existente. No hay variantes de trazado.

- **Zona de transición**

La zona de transición para esta alternativa se desarrollaría sobre la Avenida Primero de Mayo, iniciando después de la estación Rosario y finalizando en la curva antes de llegar a la estación NQS.

Actualmente no hay un flujo importante transversal entre los dos costados. El puente peatonal e intersección a nivel existentes se pueden restablecer. Existe una considerable intensidad de vehículos mixtos sobre este eje vial que se vería afectada: la anchura del separador existente no es suficiente para acoger la trinchera.

Figura 6.12 Transición infraestructura elevada a subterránea Alternativa A.1 – Fuente: SYSTRA

El impacto es moderado en comparación con las otras alternativas ya que el trazado no pasa por debajo de predios.

La distancia disponible entre las estaciones Rosario y NQS solo permite implantar la zona de transición viaducto-subterráneo. En el caso de una primera fase para el viaducto, no habría espacio suficiente para una cola de maniobras detrás de la estación Rosario.

6.4.4.2 Alternativas de tipo B

Las alternativas que pertenecen a la familia B presentan una primera diferencia relativa al trazado que varía en comparación con lo observado para la familia A. De hecho, entre las estaciones “Hortua” y Calle 45, cada alternativa de la familia B, en lugar de pasar por el eje “Carrera 10” como las alternativas de la familia A, pasa más al oeste por el eje de la “troncal Caracas”, volviendo a introducirse en el trazado original del proyecto CL1 con infraestructura de túnel en un punto entre las estaciones Calle 26 y Calle 45.

Las alternativas de la familia B cuentan con 59% del trazado elevado y un 41% de trazado subterráneo.

6.4.4.3 Alternativas B.1 y B.2

Ambas alternativas de la familia B son elevadas en el tramo entre estaciones Portal Américas y Calle 26 y subterráneas en el tramo entre estaciones Calle 26 y Calle 127. Poseen 22 estaciones. Aparte de ese cambio de trazado, la alternativa B.1 tiene un trazado idéntico al de la alternativa base modificada.

La alternativa B.2 tiene un trazado que varía del trazado B.1 entre las estaciones Rosario, NQS y Santander ya que toma el eje del canal Fucha en lugar de continuar por el eje de la Avenida Primero de Mayo-NQS-Calle 8 Sur para llegar a la Avenida Calle 1.

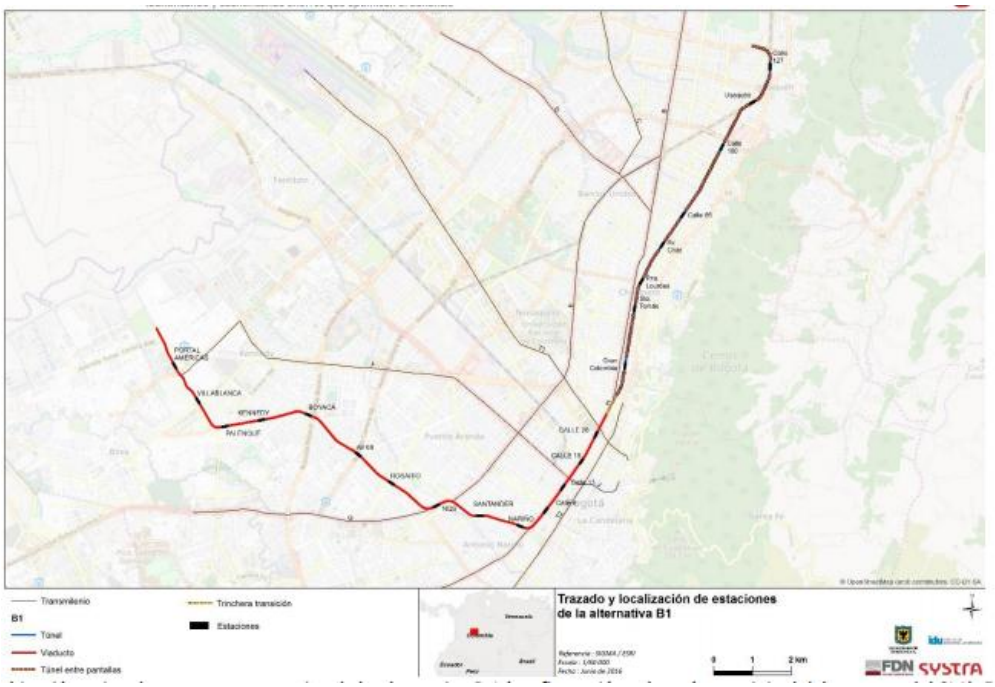


Figura 6.13 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa B.1 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1

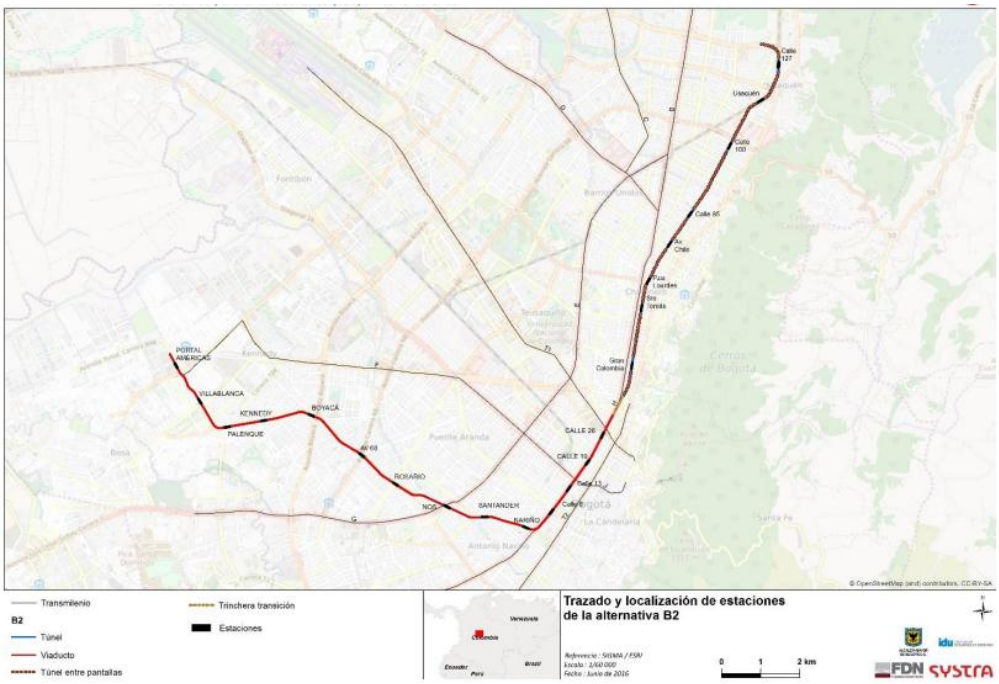


Figura 6.14 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa B.2 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1

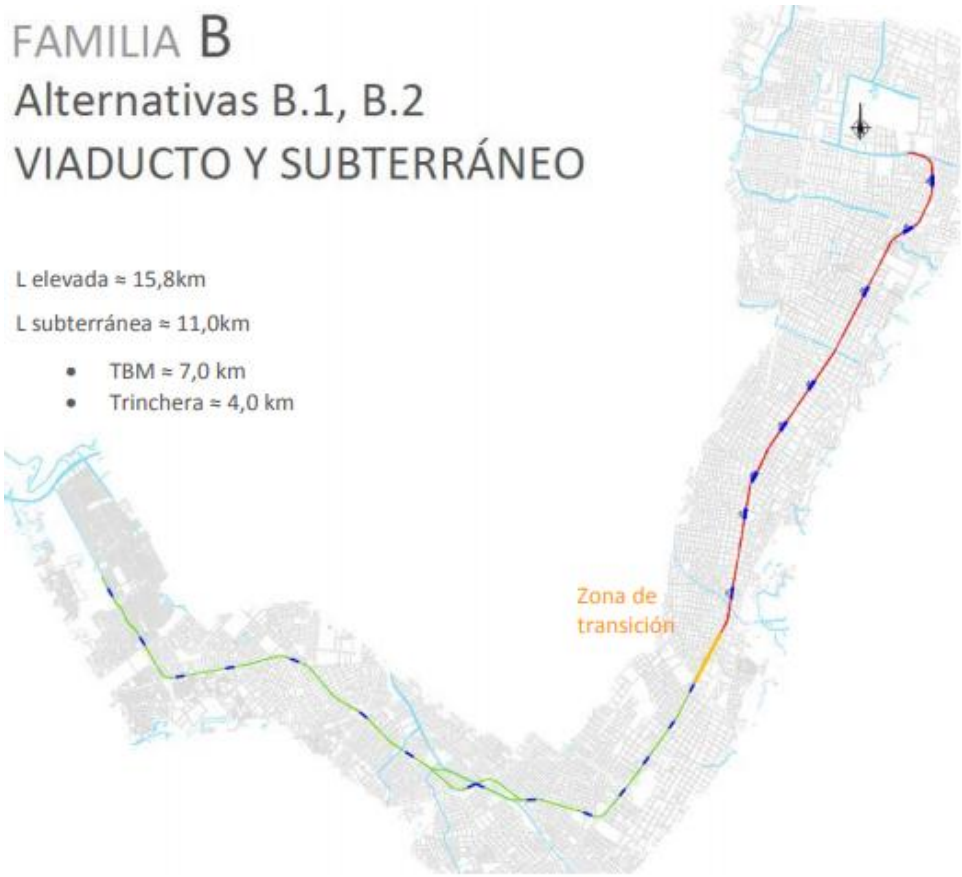


Figura 6.15 Alternativas B.1 y B.2 – Fuente: SYSTRA

6.4.4.3.1 Tramo en viaducto

Desde el origen hasta el parque Tercer Milenio, el trazado en planta de la alternativa B.1 sigue el mismo corredor que el trazado de 2013, adecuándolo para posibilitar la inserción de la infraestructura en el viario existente. La alternativa B.2 sigue la misma inserción excepto la variante del Fucha: el eje se desvía de la Avenida Primero de Mayo hacia el canal Fucha, que sigue hasta la Fragua donde se vuelve a unir con el trazado del proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1.

A partir del parque Tercer Milenio, el trazado diverge del trazado de 2013 para seguir por la Av. Caracas y es el mismo para las dos alternativas.

6.4.4.3.2 Zona de transición

Se ubica sobre la Avenida Caracas entre las estaciones de metro Calle 26 y Gran Colombia. La parte final de esta transición pasa bajo varios predios para enlazar con el trazado subterráneo del estudio de 2013. El impacto exacto sobre los predios ubicados después de la transición, depende

de la profundidad de la infraestructura subterránea, así como de las características de las edificaciones y cimentaciones existentes.

En la actualidad este tramo de la Avenida Caracas no cuenta con una actividad destacada, pero en el futuro, los desarrollos urbanos en curso van a potenciar la zona. La barrera física materializada por la transición, crearía una división entre esta zona de Teusaquillo y la zona Atrio/Centro Internacional. Además, el impacto sobre la circulación de peatones, BRT y vehículos mixtos sería importante

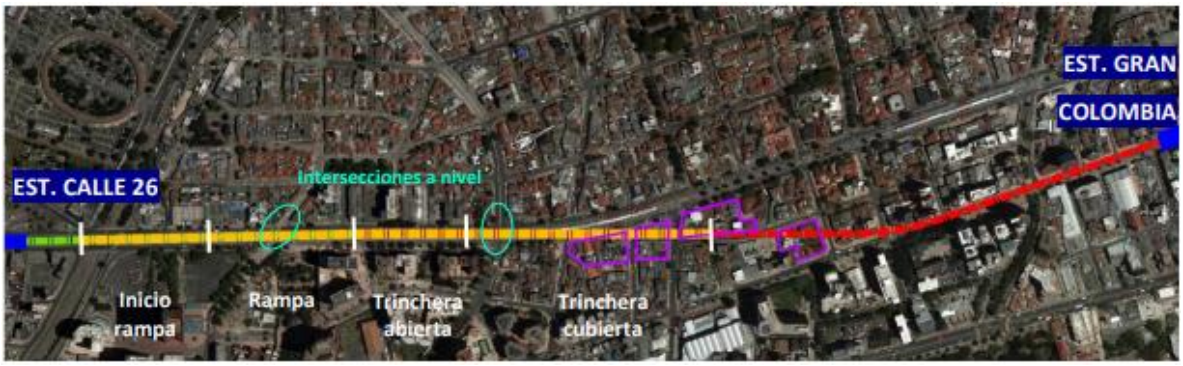


Figura 6.16 Transición infraestructura elevada a subterránea Alternativa Familia B – Fuente: SYSTRA

En comparación a las otras alternativas, el lineal entre estaciones es mayor, lo cual permitiría contemplar la posibilidad para una cola de maniobras detrás de la estación Calle 26 y trasladando la zona de transición infraestructura elevada a subterránea hacia la estación Gran Colombia.

6.4.4.4 Alternativas de tipo C

En cuanto al trazado, los trazados de la familia de alternativas C varían un poco de los de la familia B. La familia de trazado C inicia con un tramo elevado con 16 estaciones, tiene una zona de transición entre las estaciones Calle 57 y Plaza Lourdes, para finalizar con un tramo en subterráneo con el trazado del proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1 con 6 estaciones.

Entre las “estaciones Calle 53 (Marly) y Calle 63 (Plaza Lourdes, en lugar de pasar por el eje “Carrera 13” en subterráneo como las alternativas de la familia B, los trazados de las alternativas de la familia C pasan más al oeste por el eje “troncal Caracas” en elevado.

Las alternativas de la familia C cuentan con 69% del trazado elevado y un 31% de trazado subterráneo.

6.4.4.5 Alternativas C.1 y C.2

La alternativa C.1 tiene un trazado idéntico al trazado de la Alternativa B.1 hasta el sector de Gran Colombia sobre la Avenida Caracas cuando a partir de allí continúa sobre la Avenida Caracas de forma elevada hasta Plaza Lourdes. La alternativa C.2 tiene un trazado que varía del trazado C.1 entre las estaciones Rosario, NQS y Santander ya que toma el eje del canal Fucha en lugar de continuar por el eje de la Avenida Primero de Mayo-NQS-Calle 8 Sur para llegar a la Avenida Calle 1.

Ambas alternativas de la familia C son elevadas en los tramos entre estaciones Portal Américas y Calle 63 (Plaza Lourdes) y subterráneas en el tramo entre estaciones Calle 63 (Plaza Lourdes) y Calle 127. El tramo de transición entre viaducto y subterráneo se hace entre las estaciones Calle 53 (Marly) y Calle 63 (Plaza Lourdes).

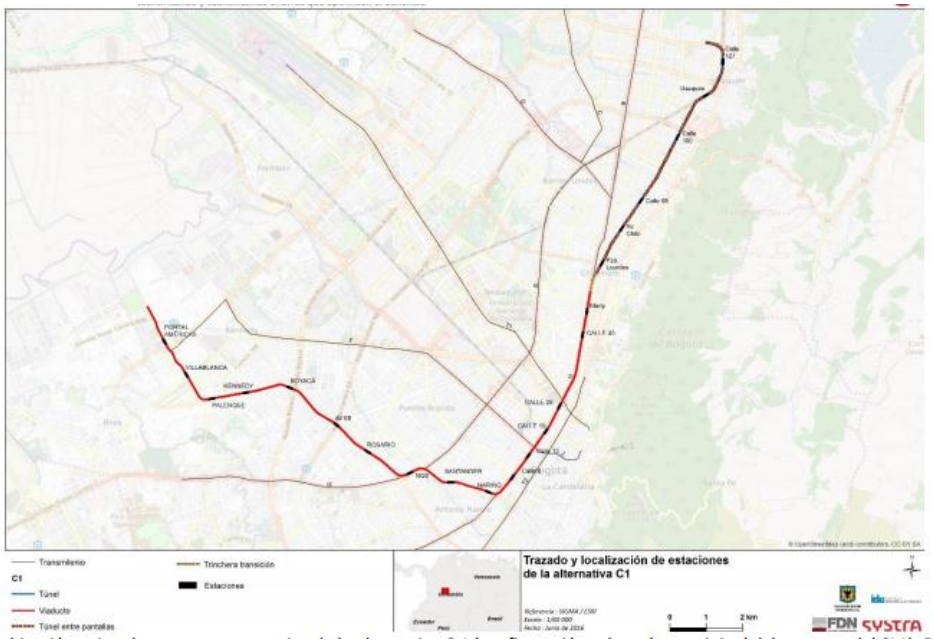


Figura 6.17 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa C.1 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1

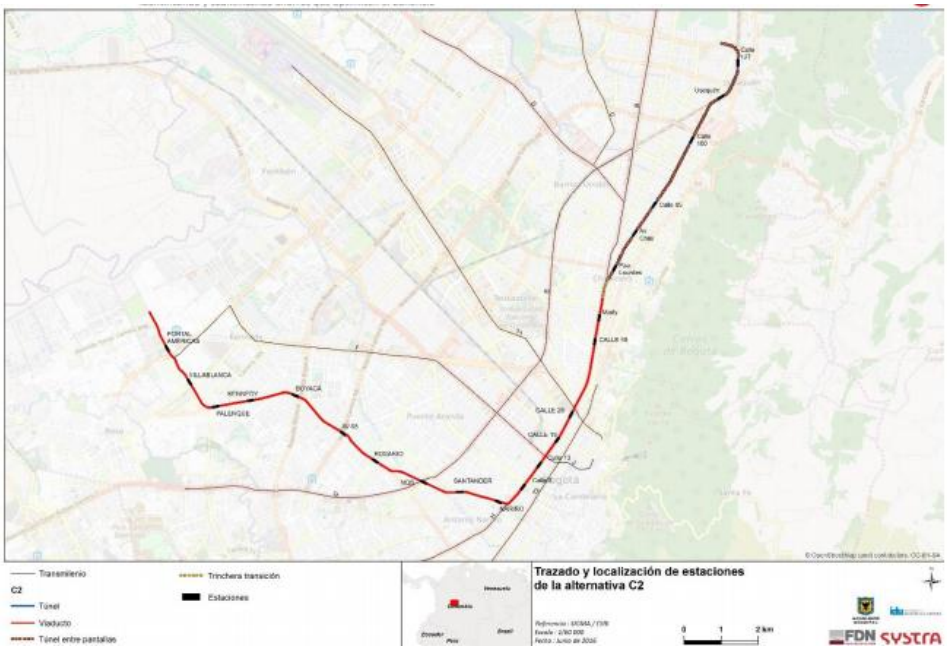


Figura 6.18 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa C.2 (configuración subterránea original del proyecto del CL1) Fuente: SYSTRA-CL1

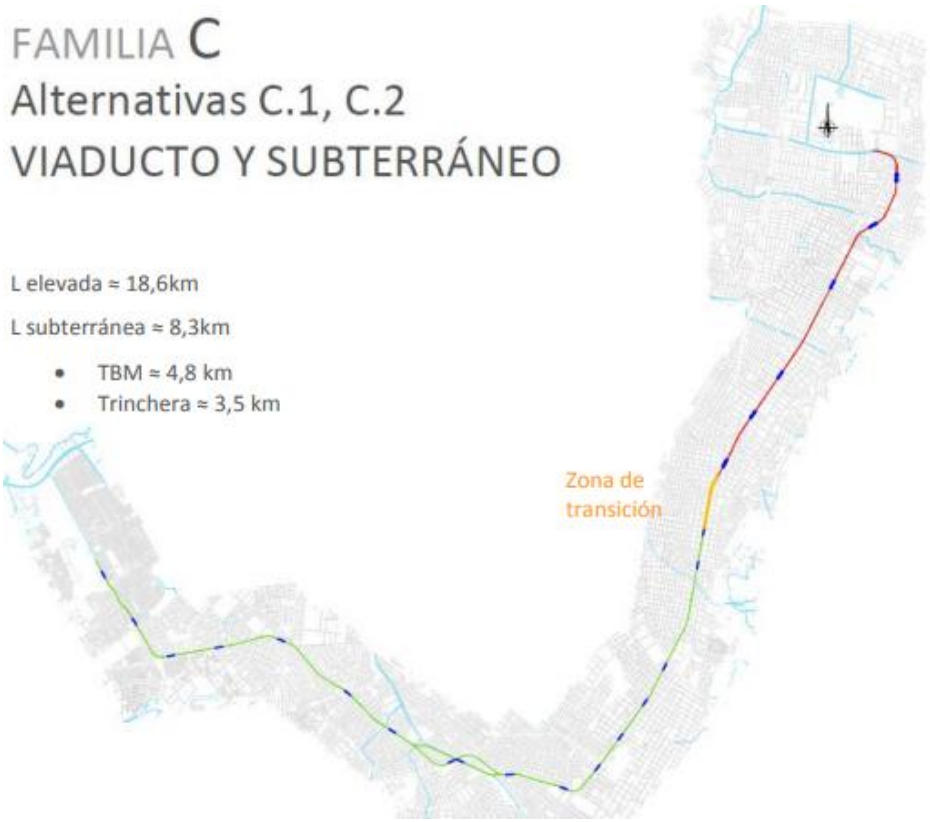


Figura 6.19 Alternativas C.1 y C.2 – Fuente: SYSTRA

6.4.4.5.1 Tramo en viaducto

Hasta el parque Tercer Milenio, el trazado en planta de la alternativa C.1 sigue el mismo corredor que el trazado de 2013, adecuándolo para posibilitar la inserción de la infraestructura en el viario existente. La alternativa C.2 sigue la misma inserción excepto la variante del Fucha: el eje se desvía de la Avenida Primero de Mayo hacia el canal Fucha, que sigue hasta la Fragua donde se vuelve a unir con el trazado de 2013.

A partir del parque Tercer Milenio, el trazado diverge del trazado del proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1 para seguir por la Av. Caracas y es el mismo para las dos alternativas.

6.4.4.5.2 Zona de transición

Para esta alternativa esta zona se ubica sobre la Avenida Caracas entre las estaciones de metro Calle 57 y Plaza Lourdes. La parte final de esta transición pasa bajo varios predios para enlazar con el trazado subterráneo de 2013. El impacto exacto sobre los predios ubicados después de la transición, depende de la profundidad de la infraestructura subterránea, así como de las características de las edificaciones y cimentaciones existentes.

Figura 6.20 Transición infraestructura elevada a subterránea Alternativa Familia C – Fuente: SYSTRA

La actividad más destacable de este sector de la Avenida Caracas es la del pequeño comercio. La barrera física materializada por la transición, crearía una división en este barrio de Chapinero. Además, el impacto sobre la circulación de peatones, BRT y vehículos mixtos sería importante. La distancia disponible entre las estaciones Calle 57 y Plaza Lourdes solo permite implantar la zona de transición viaducto-subterráneo. En el caso de una primera fase para el viaducto, no habría espacio suficiente para una cola de maniobras detrás de la estación Calle 57.

6.4.4.6 Alternativas de tipo D

En cuanto al trazado, los trazados de la familia de alternativas D contrastan en gran medida con los de la familia A. Las alternativas de la familia D son elevadas en todos sus recorridos y ambas tienen un total de 22 estaciones. Alternativas de tipo D cuentan con 100% del trazado elevado.

A partir de la estación Calle 53 (Marly) y hacia el norte, el trazado de las alternativas de la familia D pasa por el eje “Troncal Caracas” y después por el eje de la “Autopista Norte” mientras que el trazado de las alternativas de la familia A pasa por los ejes de las carreras 10, 13 y 11.

Más al sur, el trazado de la alternativa D.1 es idéntico al trazado de las alternativas de la familia C desde la estación “Portal Américas” hacia la estación Calle 53 (Marly).

La alternativa D.2 tiene un trazado que varía del trazado D.1 entre las estaciones Rosario, NQS y Santander ya que toma el eje del canal Fucha en lugar de continuar por el eje de la Avenida Primero de Mayo-NQS-Calle 8 Sur para llegar a la Avenida Calle 1.

6.4.4.7 Alternativas D.1 y D.2

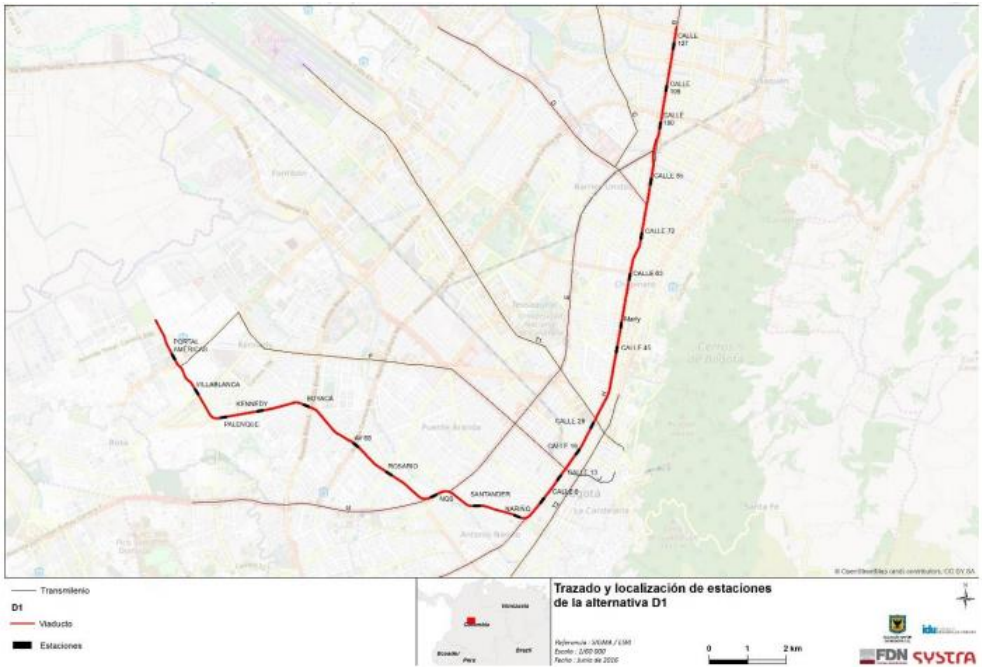


Figura 6.21 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa D.1. Fuente: SYSTRA

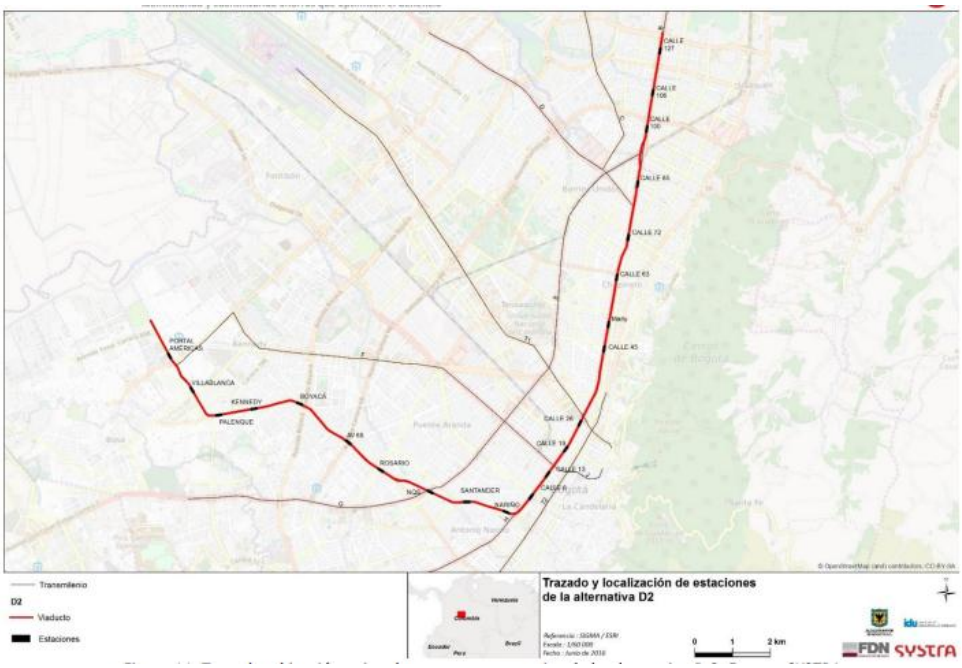


Figura 6.22 Trazado, ubicación y tipo de proceso constructivo de la alternativa D.2. Fuente: SYSTRA

Figura 6.23 Alternativas D.1 y D.2 – Fuente: SYSTRA

Hasta el parque Tercer Milenio, el trazado en planta de la alternativa D.1 sigue el mismo corredor que el trazado de 2013, adecuándolo para posibilitar la inserción de la infraestructura en el viario existente. La alternativa D.2 sigue la misma inserción excepto la variante del Fucha: el eje se desvía de la Avenida Primero de Mayo hacia el canal Fucha, que sigue hasta la Fragua donde se vuelve a unir con el trazado de 2013.

A partir del parque Tercer Milenio, el trazado diverge del trazado de 2013 para seguir por la Avenida Caracas hasta la Calle 127 y es el mismo para las dos alternativas.

6.4.5 Intersección de la inserción del viaducto por tramos

En los siguientes sub-capítulos se presentan los principios de inserción del trazado en planta adoptados para cada tramo y se detallan las singularidades. La inserción del viaducto para el metro se presenta en forma de secciones tipo acompañadas de foto, texto descriptivo y las correspondientes plantas de inserción por familia de alternativas.

De forma sintética, el entorno en el que se enmarcan los diferentes trazados es urbano, más o menos consolidado en función del sector y con presencia de diferentes tipos de uso (residencial, comercial, oficinas, etc.). Los ejes en los que se inserta el trazado corresponden, en general, a grandes ejes viarios que son los que presentan una anchura mayor de calzadas.

6.4.5.1 Canal Tintal II/Avenida Villavicencio

Este sector discurre sobre la Av. Villavicencio (Calle 43 Sur) desde el inicio del trazado hasta el enlace con la avenida Primero de Mayo. Cabe mencionar que está prevista la construcción de la Av. Villavicencio entre la Av. Tintal y la Av. Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) así como la ALO que tendrá también un sistema BRT a futuro y una posible conexión con la línea de metro mediante una estación.

El origen del trazado será ajustado en función de las conclusiones de los estudios sobre la ubicación del patio-taller para la PLMB y sobre la posibilidad de inserción de una estación de transferencia con el BRT de ALO. Hasta el momento de la edición de este informe no se ha decidido sobre el tema.

Se identifican dos tipos de implantación del viaducto en esta zona: inserción lateral siguiendo el Canal Tintal II desde el inicio hasta la Avenida Cali y, a partir de esta intersección, inserción central sobre el separador existente.

6.4.5.1.1 Canal Tintal II – Portal de las Américas

En esta zona los principales condicionantes son el Canal Tintal II, el relleno de Gibraltar y la red eléctrica aérea que lo bordea, así como el Portal de las Américas de Transmilenio.

El relleno de Gibraltar sería objeto de planes futuros para convertirlo en una zona de parque y equipamientos públicos. Actualmente presenta un suelo complicado con presencia importante de lixiviados; una red eléctrica aérea lo bordea y es necesario respetar diez metros hasta el sistema metro. Del costado Oriente hay predios residenciales, algunos de tipo invasión, para los cuales existen planes futuros de renovación urbana. La inserción en esta zona se resuelve con una implantación lateral del costado Oriente.

Figura 6.24 Vista del Canal Tintal II a la altura del relleno sanitario Gibraltar

Más al Sur se ubica, del lado Occidente del canal, el Portal de las Américas de Transmilenio. Para facilitar el intercambio entre el sistema Metro y el BRT se opta por una inserción lateral del lado del Portal.

Esto hace necesario un cruce sobre el Canal Tintal II para pasar del lado Oriente al Occidente. Esta zona ya ha sido objeto de una operación de renovación urbana. Se decide implantar el eje del viaducto entre la calzada de mixtos y la cicloruta existentes:

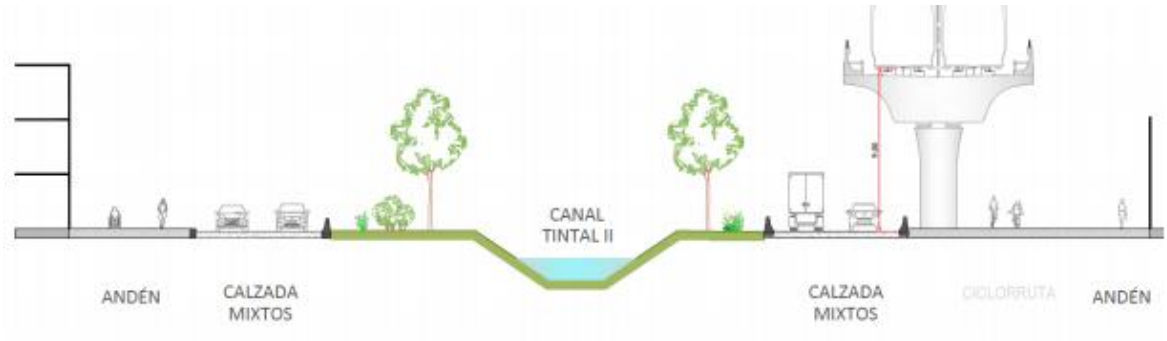


Figura 6.25 Sección tipo en canal Tintal II con inserción lateral del lado oeste – Fuente: SYSTRA

Figura 6.26 Vista del canal Tintal II a la altura del recinto del Portal de las Américas

La estación de metro se ha ubicado en frente de los andenes de BRT del Portal de las Américas:

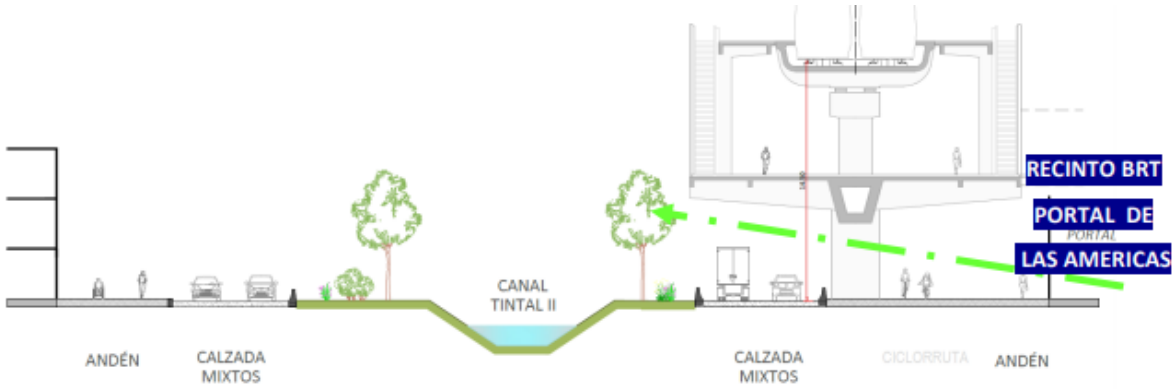


Figura 6.27 Sección tipo en el canal Tintal II con estación metro en conexión con Portal de las Américas – Fuente: SYSTRA

6.4.5.1.2 Avenida Villavicencio

A partir del Portal de las Américas, se cruza la Avenida Cali para ir a buscar una inserción central sobre el separador existente entre las calzadas. Esta intersección es importante y requerirá una re-ordenación para permitir la implantación de las pilas del viaducto.

Figura 6.28 Vista de la intersección de la Av. Villavicencio con la Av. Cali

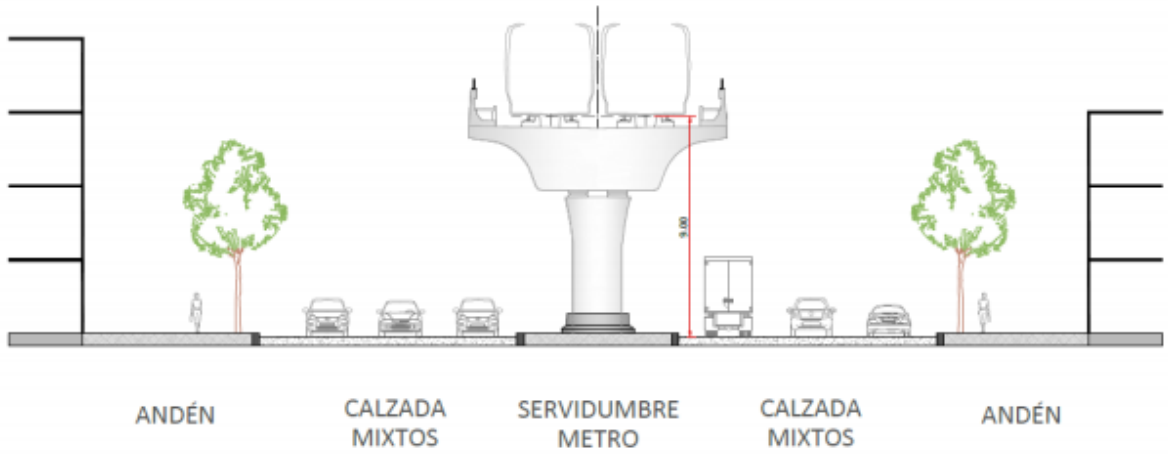


Figura 6.29 Sección tipo Av. Villavicencio con inserción central sobre separador existente – Fuente: SYSTRA

En ciertos puntos, el eje del viaducto excede el separador existente lo cual hace necesaria una reordenación viaria resultando en una reducción de la acera en uno de los costados sin impactar los predios existentes:

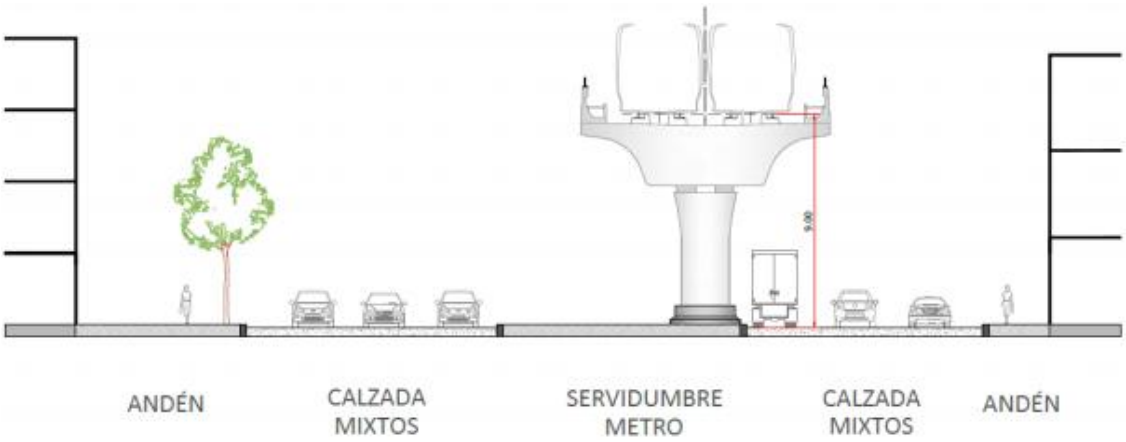


Figura 6.30 Sección particular Av. Villavicencio con inserción excéntrica puntualmente – Fuente: SYSTRA

Por esta sinuosidad del viario existente, la estación Villablanca del trazado aéreo se ubica más al Sur, en la intersección con la Carrera 80, que la estación Casablanca del trazado subterráneo.

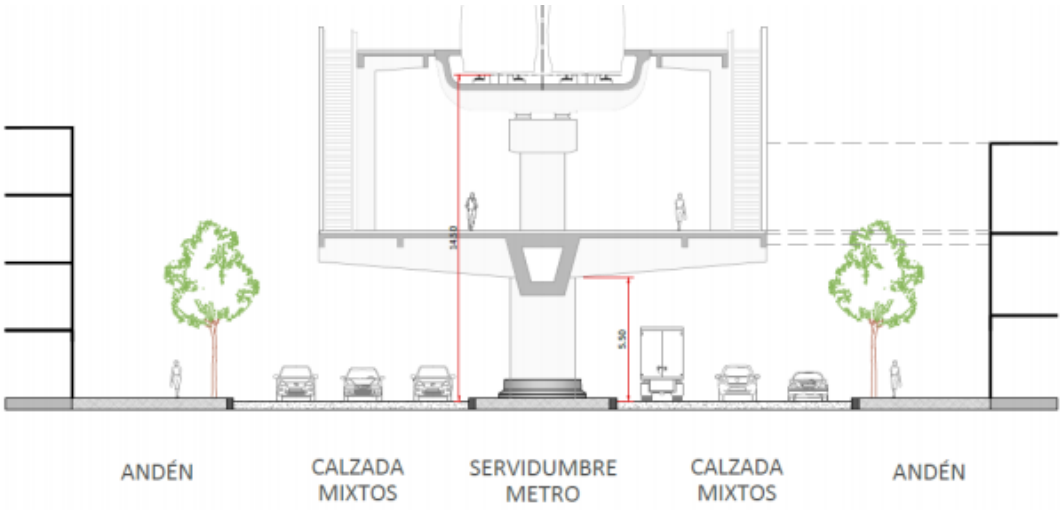


Figura 6.31 Sección tipo Av. Villavicencio con estación Villablanca – Fuente: SYSTRA

El terreno en esta zona presenta una fuerte pendiente. Los requisitos del sistema metro impiden seguir el mismo perfil longitudinal del viario existente; esto resulta en una implantación altimétrica factible pero particular de la estación Villablanca.

6.4.5.1.3 Enlace Avenida Villavicencio con Avenida Primero de Mayo

El trazado aéreo que enlaza la Avenida Villavicencio con la Avenida Primero de Mayo se resuelve con un radio inferior (200m) al empleado en la solución subterránea (325m). Gracias a esta modificación se consigue reducir el impacto predial y también se puede acercar la estación de metro al cruce entre la Avenida Villavicencio y la Avenida Primero de Mayo. Sin embargo, cabe señalar que el uso de radios más reducidos que este utilizado conllevaría efectos negativos sobre la calidad de explotación de la línea.

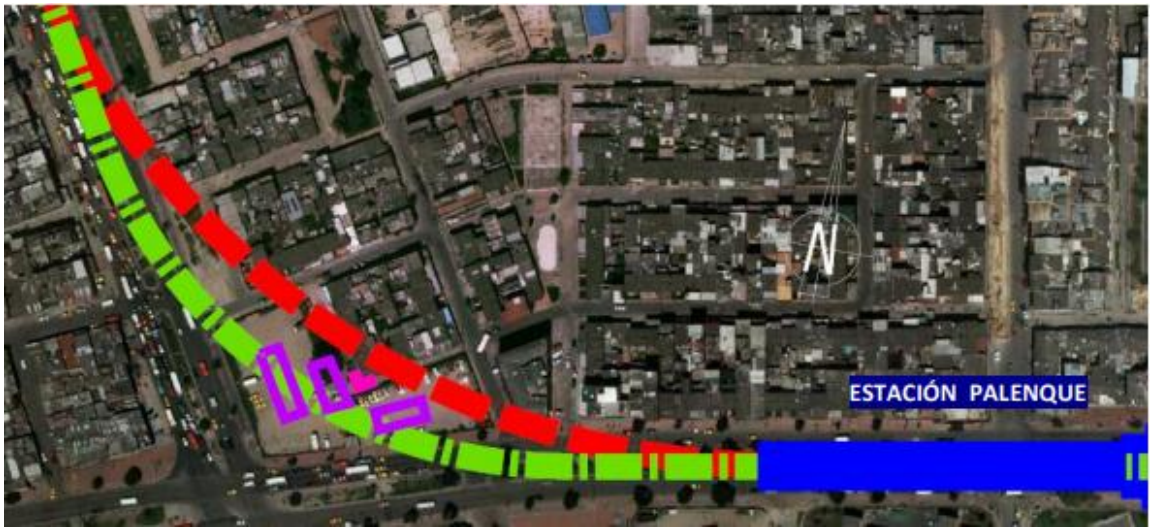


Figura 6.32 Planta con enlace entre Av. Villavicencio y Av. Primero de Mayo: trazado aéreo R200 en verde y subterráneo R325 en rojo, estación de servicio existente en violeta – Fuente: SYSTRA

En cualquier caso la estación de servicio de la esquina es impactada por el trazado:

Figura 6.33 Vista de la estación de servicio impactada en el enlace entre Av. Villavicencio y Av. Primero de Mayo

6.4.5.2 Avenida Primero de Mayo

Este sector discurre sobre la Avenida Primero de Mayo desde el enlace con la Avenida Villavicencio hasta la confluencia con las dos variantes de trazado aéreo: 1) NQS-Calle 8, 2) Fucha.

La inserción tipo del viaducto en esta zona es central sobre el separador existente que presenta una anchura suficiente para albergar las pilas del viaducto. Esta avenida se caracteriza por la uniformidad de su sección transversal a lo largo de su recorrido con excepción de las intersecciones con grandes arterias viales.

Efectivamente, en dos puntos se tiene una inserción especial del trazado aéreo: estación Avenida Boyacá y estación Avenida 68.

A continuación se presentan las secciones tipo de inserción:

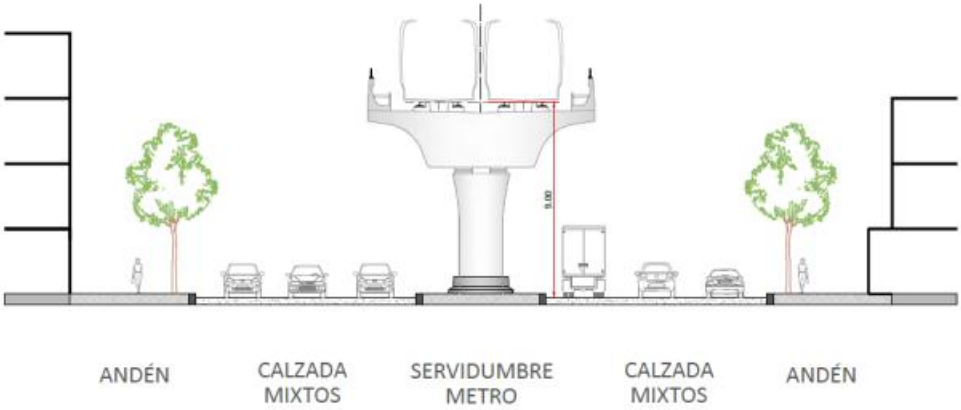


Figura 6.34 Sección tipo Av. Primero de Mayo con inserción central sobre separador existente – Fuente: SYSTRA

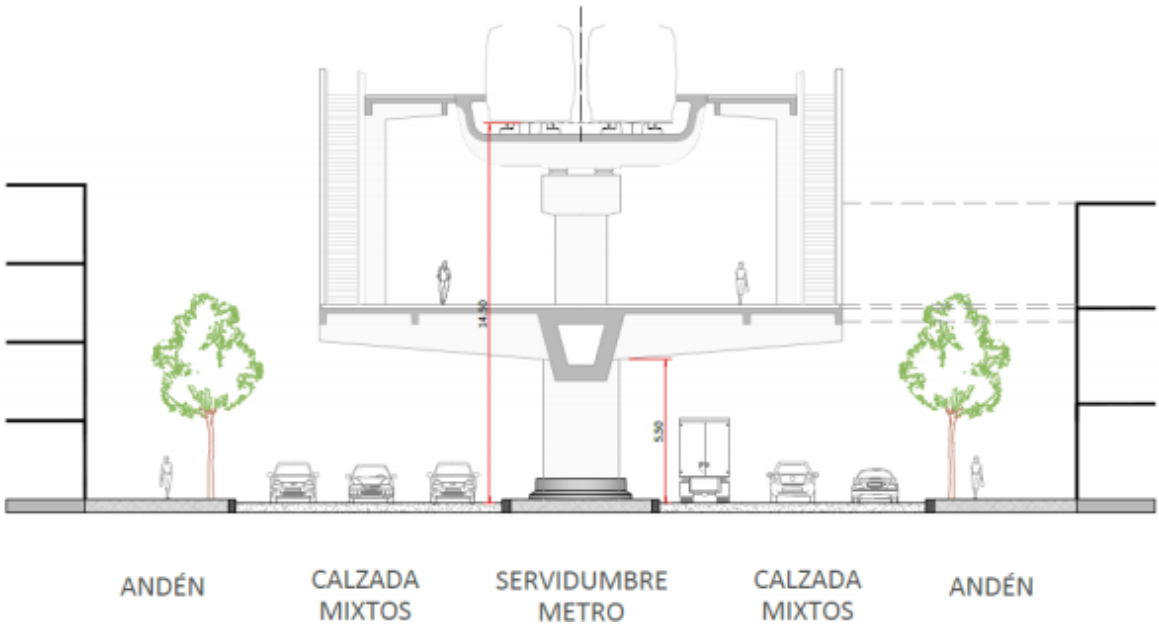


Figura 6.35 Sección tipo Av. Primero de Mayo con estación existente – Fuente: SYSTRA

A lo largo de la Avenida Primero de Mayo existen varias pasarelas peatonales de diferente tipología y vida útil. Se ha observado que tienen poco uso dado que los peatones utilizan las intersecciones semaforizadas, pero en todo caso se conserva la posibilidad de mantenerlas.

El paso del viaducto sobre pasarela peatonal requiere una elevación del viaducto resultando en una altura de 11,5m del plano de rodadura de la vía respecto a la calzada:

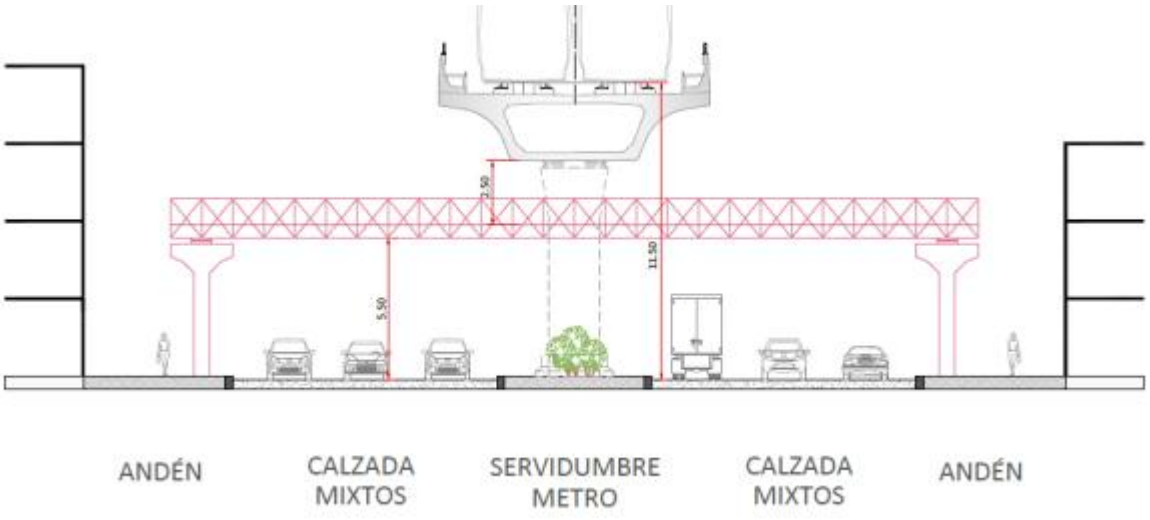


Figura 6.36 Sección tipo Av. Primero de Mayo con pasarela peatonal existente – Fuente: SYSTRA

6.4.5.2.1 Hospital Kennedy

El área en las inmediaciones del hospital Kennedy presenta unas singularidades que conllevan una resolución particular de la inserción de la parada.

El objetivo es ubicar la estación buscando la mejor accesibilidad entre el sistema metro y el hospital. Pero el espacio disponible entre fachadas a nivel no permite posicionarla frente al mismo hospital ya que el impacto sería muy fuerte.

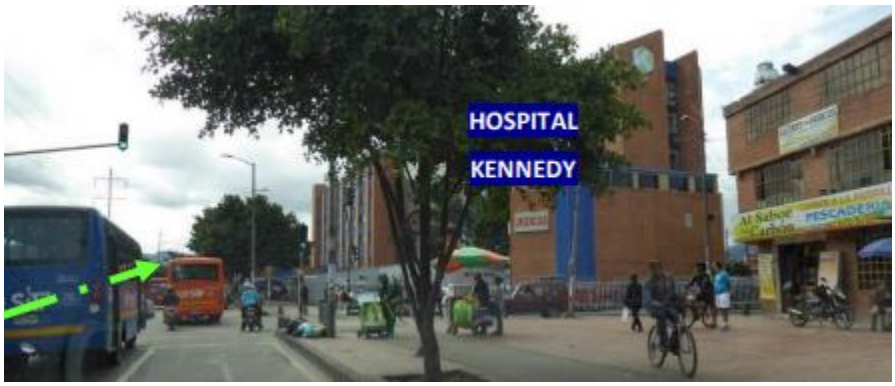


Figura 6.37 Vista del Hospital Kennedy sobre la Av. Primero de Mayo

Por lo tanto, las posibilidades de inserción se encuentran antes y después del hospital.

Si se coloca antes, la distancia a la estación Palenque sería demasiado reducida. Si se coloca después, hay un conflicto con la reserva vial Poporo-Quimbaya. Esta reserva presenta un ancho importante que exige colocar la estación de metro más lejos del Hospital. Se resolvería la accesibilidad mediante un acceso especial que evitaría a los usuarios atravesar la Poporo Quimbaya para acceder al hospital.

6.4.5.2.2 Boyacá

La intersección entre la Avenida Primero de Mayo y la Avenida Boyacá constituye otro de los puntos importantes de conexión operacional entre los proyectos de sistema metro y sistema BRT de tipo troncal, que se cruzarían de forma perpendicular en el futuro. Además de esta exigencia, está el Centro Comercial de las Américas, uno de los más grandes de la ciudad, cuyo acceso deberá ser asegurado desde estos modos de transporte público.

Figura 6.38 Planta con trazado en viaducto a nivel de la Av. Boyacá – Fuente: SYSTRA

La curva pronunciada de la Avenida Primero de Mayo en el lugar del cruce, conduce a resolver la inserción del trazado en viaducto de la misma forma que el trazado subterráneo de 2013: con una recta de forma que se impactan los predios al Sur de la avenida. Antes y después, la inserción es central sobre el separador existente.

Cabe señalar que tanto el puente vehicular como el puente peatonal existente sobre la Avenida Boyacá tienen muchos años de construidos, por lo que los proyectos de transporte previstos constituirán una oportunidad para reconstruirlos.

Figura 6.39 Vista de los predios impactados por la estación metro Av. Boyacá y de los puentes a reconstruir aprovechando la intervención

6.4.5.2.3 Avenida 68

La intersección con la Avenida 68 constituye uno de los puntos de reordenación urbana emblemáticos ya que cuenta con varios proyectos que confluyen en la misma glorieta.

Por un lado, están los 2 proyectos de troncales BRT: el de la Avenida 68, junto con vehículos mixtos, y el del Ferrocarril Sur, sin vehículos mixtos. En la glorieta confluyen con el sistema metro para una conexión operacional. La configuración preliminar presentada por el IDU muestra: paso de los vehículos mixtos de la Avenida Primero de Mayo y metro elevados, las dos troncales de BRT a nivel y para los vehículos mixtos de la Avenida 68 paso deprimido

Figura 6.40 Vista de la confluencia de la Av. Primero de Mayo en elevado con la Av. 68 a nivel

Los objetivos de reordenación urbana expuestos para esta zona se resumen así: • Facilitar la circulación de peatones y ciclistas.

- Facilitar las soluciones de acceso al transporte público tanto dentro de la glorieta como desde el exterior.
- Aumentar el potencial de la zona.
- Buscar la continuidad del corredor verde del Ferrocarril del Sur.
- Asegurar la funcionalidad de las estaciones/conexión intermodal.

La resolución de la inserción del trazado del metro se ha resuelto de forma particular. Teniendo en cuenta el hecho de que la Avenida Primero de Mayo esté en curva en su paso por la glorieta y que esta configuración no es favorable para el trazado del metro, se ha resuelto la inserción del metro ligeramente descentrada respecto al centro de la glorieta, para dejarlo en alineación recta. Esto implica que la curva después de la estación impacte los predios próximos.

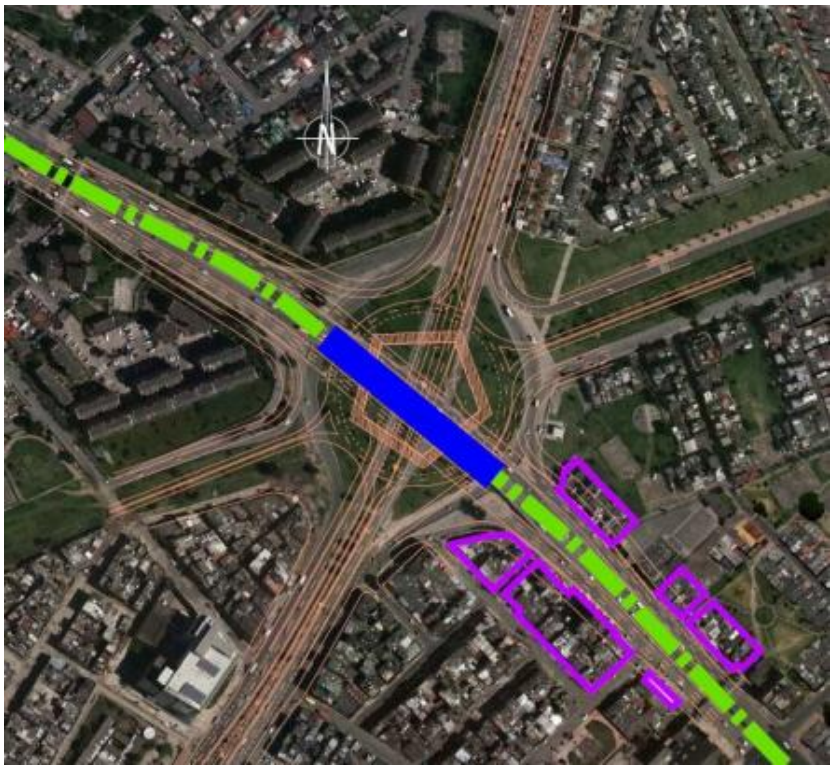


Figura 6.41 Planta de la estación Av. 68 con los proyectos metro y BRT, con impacto predial en violeta – Fuente: IDU y SYSTRA

6.4.5.3 Variante por NQS y Calle 8

Esta variante continúa por la Avenida Primero de Mayo hasta confluir con la NQS.

6.4.5.3.1 NQS

En NQS se tiene la primera conexión intermodal alineada entre la estación metro y la estación BRT. Más adelante, en el cruce con la carrera 30 y Calle 8 Sur, la inserción del viaducto se tiene que compatibilizar con el proyecto de troncal BRT en la continuación de la Carrera 30. Además en esta zona atraviesa el Canal Fucha y existe al lado un conjunto educacional del SENA.

Figura 6.42 Vista de la estación de Transmilenio NQS

Tomando en cuenta las diferentes exigencias y condicionantes físicos presentes en la zona, se resuelve la inserción del trazado del viaducto de forma central sobre el eje del BRT, permitiendo una conexión directa entre el metro y el BRT de la NQS. Mediante el uso de pasarelas peatonales también se puede contemplar la conexión operacional con futuro BRT que continua por la Carrera 30.

6.4.5.3.2 Calle 8 Sur

En esta calle el factor básico que condiciona la inserción es el espacio disponible. Para evaluar el impacto sobre los predios, se ha tomado en cuenta la línea de fachada, que en la cuasi totalidad de la calle está reculada respecto a la línea de propiedad a nivel de calle.

El objetivo es distribuir el impacto sobre los predios de forma equilibrada entre ambos lados de la calle. Por esta razón se propone una inserción central entre líneas de fachada, que por el hecho de la implantación asimétrica del separador central existente, resulta en una inserción excéntrica respecto a dicho separador:

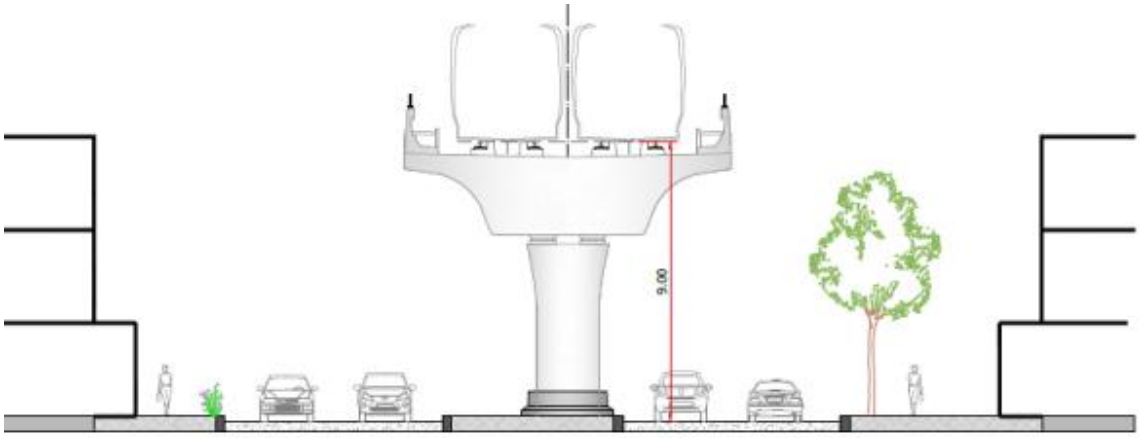


Figura 6.43 Sección tipo Calle 8 Sur con inserción centrada entre los límites de fachada de construcciones existentes – Fuente: SYSTRA

6.4.5.4 Variante por el Fucha

La variante por el canal Fucha, inicia a partir de la Carrera 39 desviándose de la Avenida Primero de Mayo para ir a buscar el canal. Este recorrido representa un fuerte impacto predial y además crearía una división física considerable en un barrio ya consolidado

Luego sigue paralelo al canal, con una inserción lateral del lado Sur hasta la Fragua donde cruza la glorieta para retomar el trazado de 2013 por la Calle 1.

Este eje presenta varios condicionantes:

- Corredor ecológico: el canal se encuentra en un proceso de recuperación gradual actual y futuro. Se trata de uno de los principales ejes verdes existentes en la zona.
- Hidráulica: la sección actual es suficiente y podría ser revisada. Acueducto de Bogotá busca reducir la velocidad del agua.
- Redes: existen canalizaciones de drenaje de diámetro importante bajo los taludes que delimitan el canal o bajo la cicloruta/calzada contigua a los taludes; es variable según los tramos lo que dificulta tratar este tema de forma homogénea.
- Características del suelo: existen en la zona fallas geológicas y los taludes presentan una problemática de estabilidad; ya han acontecido desmoronamientos ocasionalmente.

Figura 6.44 Vista del canal Fucha en el tramo entre NQS y La Fragua, con una anchura notable de la calle

En base a los factores presentados, se debería privilegiar una inserción del viaducto lo más alejada del canal. Sin embargo, la afectación predial sería excesiva. Por este motivo, se ha buscado un equilibrio entre impactos y se ha resuelto posicionar la pila al borde del talud del canal, de forma que la afectación predial se limite a las fachadas alineadas con el límite de propiedad a nivel de calle (casos puntuales).

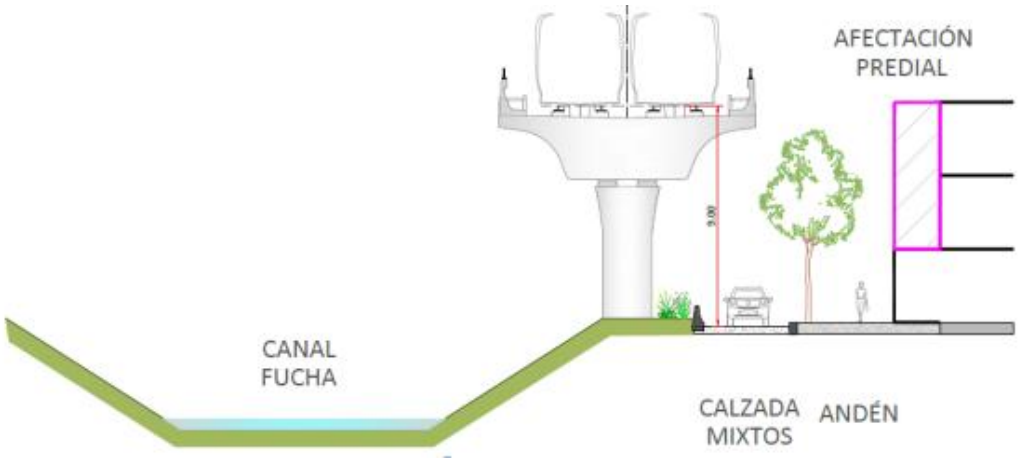


Figura 6.45 Sección tipo Canal Fucha con inserción lateral, con impacto puntual sobre las fachadas adelantadas – Fuente: SYSTRA

6.4.5.5 Comparación variantes trazado

A continuación se muestra una planta ilustrando las dos variantes de trazado en planta:

- Variante NQS-Calle 8 en color verde; Variante Fucha en color aguamarina.
- Impacto predial en color violeta; impacto por proximidad a fachada en rosa.

Figura 6.46 Planta comparativa de los dos trazados con las dos opciones de localización de la estación de metro NQS – Fuente: SYSTRA

6.4.5.6 Calle 1

Este sector inicia con la estación de metro Santander y transcurre por la Calle 1 hasta el enlace con la Avenida Caracas a la altura de Nariño, que constituye el punto singular para la inserción del trazado aéreo.

La inserción en esta zona se resuelve centralmente sobre el separador existente, excepto en el punto singular.

Figura 6.47 Sección tipo Av. Calle 1 con inserción central sobre el separador existente – Fuente: SYSTRA

Cabe destacar que la anchura del separador existente es reducida respecto a otros ejes viarios atravesados. Se requeriría una ampliación del separador para permitir la implantación de las pilas del viaducto.

6.4.5.6.1 Estación Nariño y enlace con Caracas

En este enlace, el espacio reducido para efectuar la curva en superficie y la presencia de inmuebles destacados (sea por su altura, sea por su interés patrimonial), conducen a una inserción particular del trazado. Además se tiene en cuente la inserción de la estación de metro Nariño.

Figura 6.48 Planta de enlace del trazado aéreo entre la Av. Calle 1 y la Av. Caracas, predios impactados en violeta – Fuente: SYSTRA

A partir de la inserción central tipo para la Calle 1, el eje se desvía hacia el costado sur de la calle para poder disponer de un segmento recto de longitud suficiente para la implantación de la estación antes de la curva.

Con el fin de no impactar los predios de altura considerable, que se muestran en la foto de la figura 35, se emplea un radio reducido: 210m. Este caso es similar al punto singular del enlace entre la Avenida Villavicencio y la Avenida Primero de Mayo en el que ya se señaló que se usó un radio mínimo. Sin embargo, cabe señalar que el uso de radios más reducidos al utilizado conllevaría efectos negativos sobre la calidad de explotación de la línea.

Figura 6.49 Vista del cruce entre la Av. Calle 1 y la Av. Caracas, con edificios altos presentes que condicionan la inserción

6.4.5.7 Avenida Caracas

La Avenida Caracas es una de las principales arterias de Bogotá que, con la Troncal de Transmilenio que la recorre, constituye un importante eje de movilidad Norte-Sur.

En la actualidad, tiene una ordenación urbana centrada en torno a la troncal BRT y los vehículos mixtos.

Figura 6.50 Vistas de la Av. Caracas en la actualidad a nivel de las calles 11, 45 y 74

El IDU ha formulado una serie de proyectos para esta avenida. Para los tramos Caracas Central y Carcas Norte se pueden resumir en:

- Mejoramiento del sistema BRT. (Bus Rapid Transit)
- Exclusión del tráfico mixto e implementar un carril de servicio.
- Implementación del sistema Metro.
- Conexiones operacionales.

Aprovechando los proyectos de BRT y Metro, el objetivo es reconfigurar la ordenación para ganar espacio para los peatones y ciclistas conservando carriles de servicio para permitir el acceso a vecinos y proveedores de servicios de la zona. Esta intervención recuperaría el carácter emblemático de la Avenida Caracas.

La inserción del trazado aéreo se desarrolla centralmente sobre el separador del BRT. Para poder implantar las pilas y conservar espacio suficiente para la circulación de viajeros en las estaciones de BRT, el separador debería tener un ancho mínimo de 9m.

El principio de conexión entre las estaciones BRT y Metro sería de superposición. Se dan casos en los que la conexión operacional se hace de forma contigua.

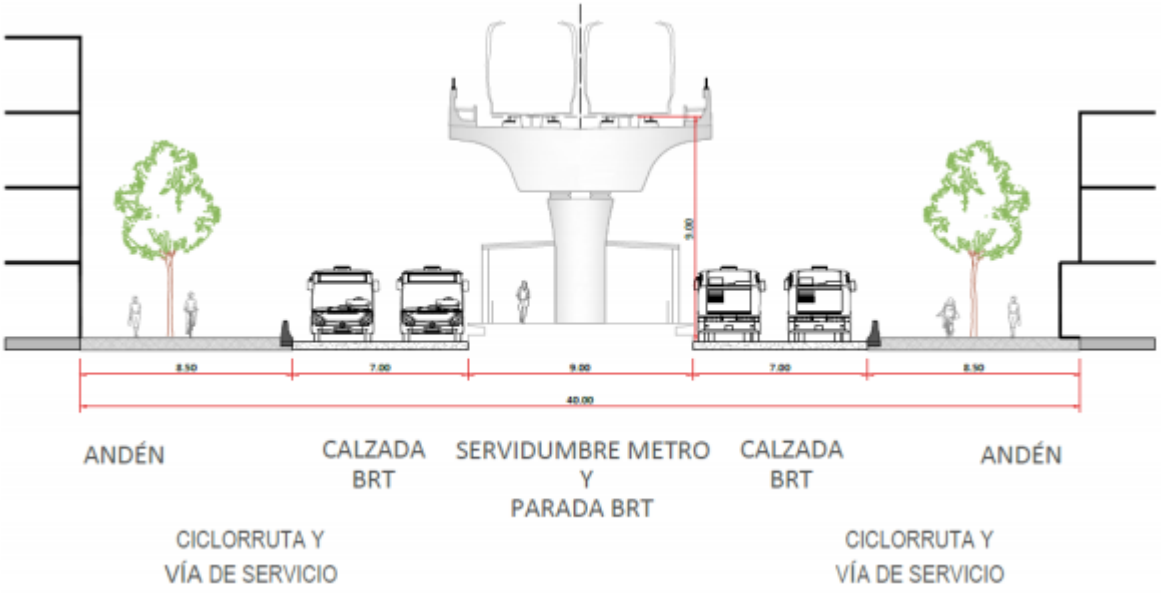


Figura 6.51 Sección tipo Av. Caracas con inserción central sobre el andén BRT ampliado a 9 m – Fuente: SYSTRA

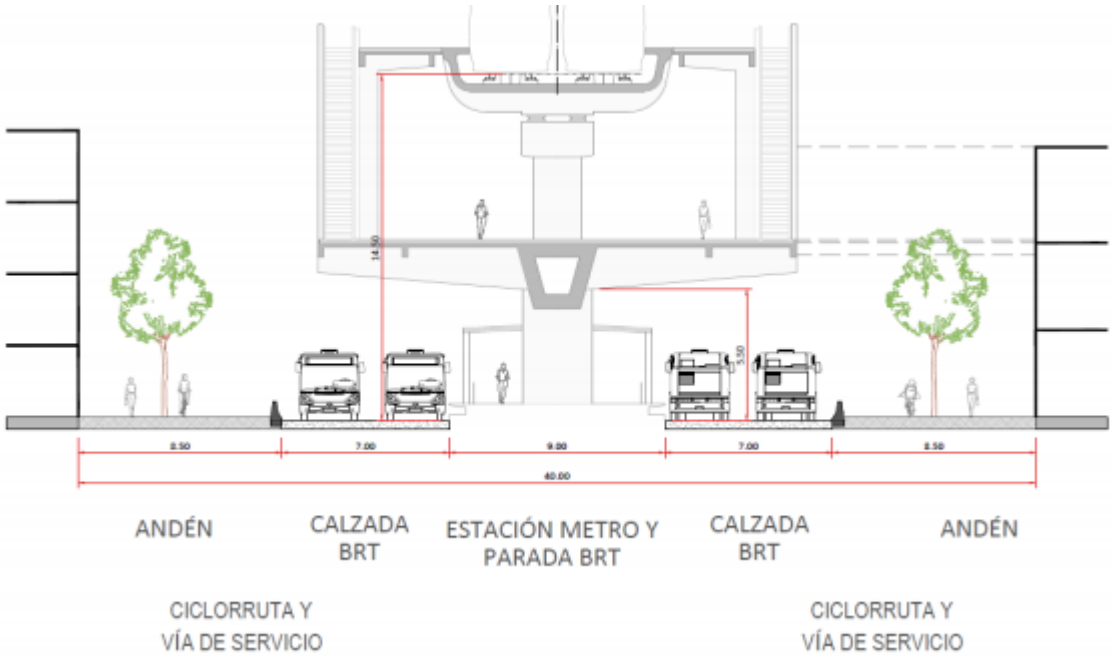


Figura 6.52 Sección tipo estación metro Av. Caracas con inserción central sobre el andén BRT ampliado a 9 m – Fuente: SYSTRA

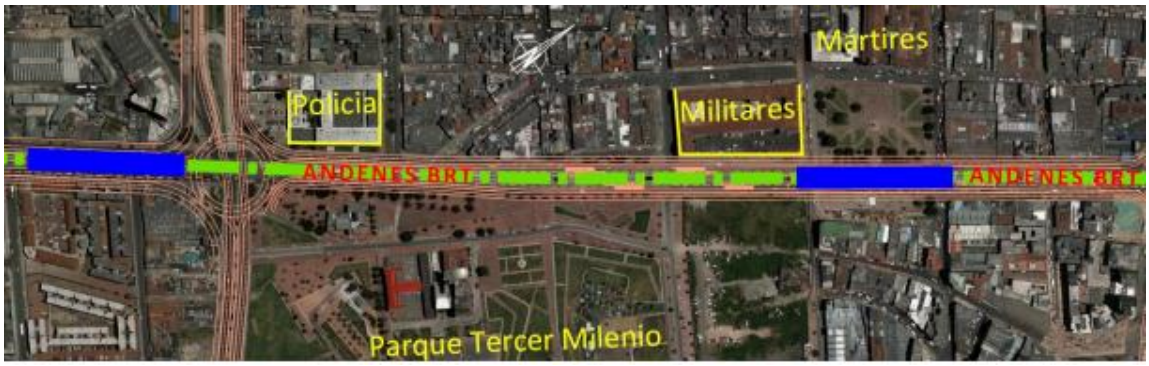
6.4.5.7.1 Estaciones Calle 6 y Calle 10

Siguiendo por la Avenida Caracas, en la zona del Parque Tercer Milenio se dan varios condicionantes:

- Troncales BRT sobre la Caracas y sobre la Calle 6.
- Presencia edificaciones de la Policía y de los Militares.
- Programa de recuperación urbana del Voto Nacional.

La estación de BRT Calle 6 sobre la Caracas se ubica frente a la Policía. Más adelante se encuentran los Militares, la plaza de los Mártires y finaliza el tramo con la estación BRT de la Avenida Jiménez.

Para dar respuesta a estos requisitos espaciales y al mismo tiempo a las necesidades de movilidad, se resuelve la implantación de estaciones de metro de la siguiente manera:



Planta del trazado por la Av. Caracas en las inmediaciones del Parque Tercer Milenio – Fuente: SYSTRA

La estación de metro Calle 6 se ha ubicado antes de la glorieta. La estación de metro Calle 10 se ha ubicado en la Plaza los Mártires entre las calles 10 y 11 que están en la continuidad de la Plaza Bolívar, generando la posibilidad de establecer un eje oriente-occidente peatonal que integraría la zona de la Plaza Bolívar con la zona del Voto Nacional y sus alrededores.

6.4.5.7.2 Estación Calle 26

Sobre la Avenida Caracas en las inmediaciones con Calle 26 se tiene uno de los proyectos de desarrollo inmobiliario y de adecuación urbanística más importantes del centro: el proyecto de Estación Central.

En el sector oriente de este proyecto, se planifican lotes dedicados al comercio, los servicios empresariales, vivienda y dotacional. Por otro lado, hay una interfaz fuerte con los sistemas de transporte público: metro en elevado sobre la Caracas y BRT en subterráneo, contando con conectores verticales para facilitar los accesos. Asimismo el proyecto de Estación Central pretende crear conexiones urbanas hacia el Centro y el Barrio de la Merced, con Atrio y Centro Internacional, y también con el sector occidente.

Figura 6.53 Vista del acceso al intercambiador deprimido del BRT en la Av. Caracas en la zona del proyecto Estación Central

El trazado de metro pasaría con una inserción central en superposición sobre la troncal e intercambiador BRT. La estación metro Calle 26 se ha posicionado lo más céntrica posible respecto al proyecto de Estación Central, y respetando del edificio Panautos catalogado como Bien de Interés Cultural.

Figura 6.54 Vista del paso de la Av. Caracas sobre la Calle 26

6.4.5.7.3 Los Héroes

Desde la Calle 26, no hay puntos singulares especiales en cuanto a la inserción del trazado. La sección transversal es relativamente homogénea y se desenvuelve de la forma indicada al inicio esta sección.

Llegando a Héroes, la inserción es más compleja: queda condicionada por el intercambiador deprimido entre la Avenida Caracas y la Calle 80, y por el monumento a los Héroes.

Figura 6.55 Vista izquierda: intercambiador entre la Av. Caracas y la Calle 80. Vista derecha: monumento a Los Héroes

Se puede evitar el monumento creando un trazado sinuoso que lo rodee, pero se impactaría todo el centro comercial existente en el costado oriental.

Se opta por la opción de un trazado lo más recto posible, que impactaría el monumento y sería necesario realizar su traslado.

6.4.5.8 Autonorte

Este sector cuenta con uno de los anchos viales más generosos a lo largo del corredor estudiado.

Figura 6.56 Vista de la Autonorte desde Los Héroes

De todas formas, existen numerosos condicionantes físicos que conducen a una inserción de la infraestructura en este sector más compleja de lo que parecería, pero factible.

Primero que todo, analizando la sección transversal se tienen unos usos del espacio urbano bien definidos y consolidados en los que destacan el tráfico de vehículos mixtos y el BRT. De cada lado del vial existen 2 separadores laterales anchos, pero en los que hay redes importantes de electricidad y drenaje; además en el proyecto de reordenación de la Autonorte, se contempla aprovechar uno de los separadores para crear un carril adicional de mixtos. Conjuntamente con el hecho de estar distantes de la troncal del BRT, se descarta una inserción lateral sobre los mismos.

Segundo, a lo largo de la Autonorte existe una cantidad considerable de “obstáculos” a sortear: pasarelas peatonales, puentes vehiculares, el intercambiador de la 94. Estos van a impactar de forma especial el perfil longitudinal del viaducto para el metro que se va a tener que adaptar a las infraestructuras existentes, que en general son de reciente construcción.

En tercer lugar, si existen proyectos de aumento de capacidad del sistema BRT (definidos en el CONPES 3093 de 2000), estos proyectos deben ser revisados teniendo en cuenta la presencia de la línea de metro y de esta manera evitar conflictos o redundancia en las inversiones.

A continuación se muestra la sección tipo de principio propuesta para este sector.

Figura 6.57 Sección tipo Autonorte con inserción central sobre el separador de Transmilenio – Fuente: SYSTRA

A continuación se presenta el principal punto singular, el intercambiador de la 94, y la finalización del trazado del metro en la Calle 127.

6.4.5.8.1 Intercambiador de la 94

Las opciones para atravesar este intercambiador son reducidas. Del lado oriental existen edificios relativamente altos y próximos. Por la parte central, la presencia de diversos niveles y orejas obligaría a elevar el viaducto a una cota importante, añadiendo volumen vertical al intercambiador existente e implicando una construcción compleja.

Figura 6.58 Planta del intercambiador de la Calle 94, entre estaciones Calle 85 y Calle 100 – Fuente: SYSTRA

Se opta por estudiar una inserción más al occidente, que permitiría conservar una altura razonable del viaducto, aunque impactando unos predios antes y después. Se ha de tener en cuenta que el trazado más sinuoso penalizaría levemente la calidad de explotación de la línea metro.

6.4.5.8.2 Calle 127

El trazado de la línea finaliza en la Calle 127. La presencia de una cola de maniobras en esta estación terminal condiciona la posición de la estación metro en relación a la estación BRT existente: quedaría más al sur en vez de quedar en frente.

Además, existe la posibilidad de una futura extensión para Suba. Esta continuación añadiría restricciones adicionales a la inserción de la estación de metro Calle 127. Un estudio más detallado de explotación permitiría realizar un análisis completo de este tramo final.

6.5 MARCO DE LA EVALUACIÒN MULTICRITERIO

6.5.1 Metodología de la evaluación multicriterio

Para evaluar las alternativas de sistemas de transporte se tienen que analizar varios componentes intrínsecos a su desempeño y al impacto que cada una de ellas tiene en el contexto urbano y verificar cómo ellas satisfacen con eficiencia los requerimientos adoptados.

Con esta consideración se determinaron varias áreas/componentes de evaluación y se estimó el cumplimiento de cada alternativa con respecto a estas áreas, para luego hacer una comparación entre ellas:

- Componente de “impacto ambiental”
- Componente de “proceso constructivo”
- Componente de “urbano-paisajístico”
- Componente de “experiencia del usuario”
- Componente de “beneficios sociales”
- Componente “financiera”
- Componente “riesgos”

Por otro lado, la identificación de la importancia o peso relativo de cada uno de los componentes de comparación es la otra base que fundamenta el análisis multicriterio.

Para lograr este cometido, el Comité de Seguimiento de la Consultoría CSC estableció un proceso de definición de estos pesos relativos para los componentes, criterios e indicadores del análisis multicriterio. El proceso fue liderado por el CSC con la participación de autoridades del gobierno nacional (FDN, Ministerio de Transporte, DNP) y autoridades del nivel de la Alcaldía de Bogotá (SDM, IDU, Alcaldía Mayor).[9]

La figura y la tabla síntesis de pesos relativos mostradas a continuación presentan la valoración relativa para cada uno de los componentes, criterios e indicadores adoptados para este análisis.

[9] Ministerio de Transporte: Walid David, Jalih, Asesor Ministro; Edgar Iván Cano, Asesor de la UMUS. DNP: Luis Fernando Mejía, Subdirector General; Cesar Peñalosa, Jefe Unidad de Infraestructura; Luis Felipe Lotta, Jefe División Transporte; Maria Carolina Lecompte, Especialista. Distrito de Bogotá: Juan Pablo Bocarejo, Secretario de Movilidad; Oscar Diaz, Asesor Alcalde; Sandra Angel, Subdirectora General de Infraestructura del IDU; José Félix Gómez, Subdirector General de Desarrollo del IDU; Maria Fernanda Ortiz, Asesora Secretaria de Movilidad. FDN: Diego Sanchez, Gerente Técnico de Estructuraciones; Juan Camilo Pantoja, Director de Proyectos; Gonzalo Espinal, Asesor; Andres Escobar, Gerente del Proyecto.

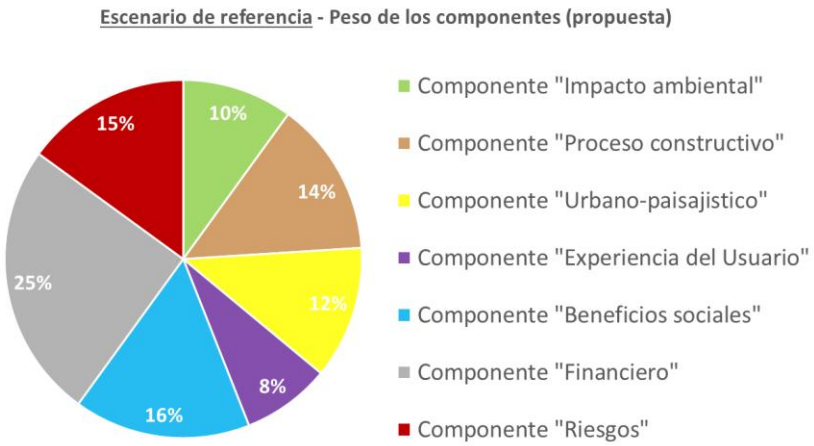


Tabla 6.6 Peso de los componentes de evaluación – Fuente: Comité de Seguimiento Consultoría (CSC)

Según la definición del CSC (Comité de Seguimiento de la Consultoría), el componente financiero prevalece sobre los otros componentes, ya que cuenta con el 25% de la nota global. Le siguen el componente beneficios sociales con un 16% y el componente de riesgos con un 15%.

Luego, cada componente se divide en diferentes criterios de evaluación. Cada criterio incluye uno o más indicadores que poseen también su propio peso dentro de una misma área de análisis. Se describen a continuación los criterios y los indicadores que se decidieron usar para la evaluación de las alternativas, así como los pesos atribuidos.

Tabla 6.7 Pesos relativos de cada componente aprobados por el CSC

Componente Impacto Ambiental												
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		FDN		PROMEDIO	
Fuentes hídricas	Cruces con cuerpos de agua	Cuantitativo	UN	25	10%	20	9%	19	11%	21,3	10,00%
Suelo	Generación de escombros durante la obra	Cuantitativo	M3	15		30		14		19,7	
Paisajismo	Afectación arbórea	Cuantitativo	UN	20		20		20		20,0	
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por la operación del sistema	Cuantitativo	dB	20		10		24		18,0	
	Generación de vibraciones por la operación del sistema	Cualitativo	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)	20		20		23		21,0	
Componente Proceso Constructivo											
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		FDN		PROMEDIO	
Rendimiento	Tiempo total de construccion	Cuantitativo	Meses	14	15%	30	10%	22	16%	22,0	14,00%
Daño emergente y lucro cesante	Perturbación a vecinos comerciales	Cuantitativo	No. predios comerciales/rendimiento	10		10		12		10,7	
Pertubaciones al trafico	En el tráfico vehicular	Cuantitativo	Ml de vías cerradas/rendimiento	14		10		15		13,0	
	En la operación del BRT	Cuantitativo	Ml de troncales afectadas/rendimiento	18		10		18		15,3	
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por la construcción del sistema	Cuantitativo	dB/redimiento	14		10		11		11,7	
	Generación de vibraciones por la construcción del sistema	Cualitativo	Alto (3), Medio (2), Bajo (1)	14		10		11		11,7	
Redes de servicio público	Interferencias con redes principales	Cuantitativo	Ml de redes	16		20		11		15,7	
Componente Urbano-Paisajístico											
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		FDN		PROMEDIO	
Renovación urbana	Potencial de generación de Espacio Público	Cuantitativo	M2 de espacio público	16	15%	20	10%	18,0	12%	18,0	12,00%
	Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios	Cuantitativo	M2 de edificios	16		20		17,0		17,7	
	Potencial de recuperación de zonas deprimidas	Cuantitativo	M2	15		20		12,0		15,7	
Impacto urbano	ctación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanist	Cuantitativo	M2 impactados	16		20		12,0		16,0	
	Proximidad con fachadas (abajo 10m)	Cuantitativo	Ml de fachadas	20		10		18,0		16,0	
	Impacto visual	Cualitativo	-	17		10		23,0		16,7	
Componente Experiencia del Usuario											
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		FDN		PROMEDIO	
Percepción en el uso del sistema de transporte	Apropiacion de la ciudad	Cualitativo	-	25	11%	40	9%	37,0	5%	34,0	8,00%
	Percepción de seguridad	Cualitativo	-	40		30		35,0		35,0	
	Salubridad e hibiene	Cuantitativo	Ml de tunel, trinchera, viaducto	35		30		28,0		31,0	
Componente Beneficios Sociales											
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		FDN		PROMEDIO	
Mejoras de transporte	Pasajeros transportados (HP)	Cuantitativo	Embarques	30	15%	60	15%	37,0	17%	42,3	16,00%
	Ahorros en tiempo	Cuantitativo	Horas.pasajeros	37		20		38,0		31,7	
Integracion BRT	Tiempo promedio de transferencia	Cuantitativo	mn	33		20		25,0		26,0	
Componente Financiero											
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		FDN		PROMEDIO	
Costos inversión y explotación	Costos de inversión proyecto metro por km (con predios)	Cuantitativo	$COP/km	48	19%	69	35%	60,0	20%	58,9	25,00%
	Costos de operación y mantenimiento	Cuantitativo	$COP/tren.kilómetro	52		31		40,0		41,1	
Componente Riesgos											
CRITERIO	INDICADOR	MEDIDA	UNIDAD	NACION		DISTRITO		19		PROMEDIO	
Riesgo geotecnico	Subsidencia y derrumbes	Cuantitativo	Ml	20	15%	10	10%	20	19%	16,7	15,00%
Riesgo sismico	Riesgo sismico para las estructuras	Cuantitativo	Ml	20		10		17		15,7	
Riesgo sobre el cronograma	Incertidumbre sobre el rendimiento de construccion	Cuantitativo	Ml/dia	23		30		21		24,7	
Riesgo de gestión predial	Riesgo sobre la gestión predial	Cuantitativo	UN predios	16		20		17		17,7	
Riesgo financiero	Incertidumbre sobre el costo del proyecto	Cualitativo	-	21		30		25		25,3	

Fuente: SYSTRA y CSC

6.6 DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES

6.6.1 Impacto ambiental

El componente de análisis relativo al impacto ambiental, se enfoca en evaluar las restricciones ambientales que podrían impactar las alternativas propuestas, así como, analizar de manera comparativa cada una de las alternativas con relación al medio involucrado, seleccionando aquella que racionalice el uso de los recursos naturales y cause el menor impacto negativo al medio ambiente.

Los objetivos que debe cumplir el sistema de metro son los siguientes:

- **Mejorar la calidad ambiental en la ciudad.** El metro de Bogotá deberá contribuir al enriquecimiento ambiental de la ciudad, a través de la incorporación de diseños, tecnologías, espacios, que conlleven a lograr del corredor en estudio, un modelo ambiental a seguir, no solo a nivel nacional sino también a nivel internacional.
- **Generar proyectos de infraestructura sustentable.** El transporte masivo como sistema de vital importancia en las ciudades, debe conseguir ser sustentable como prioridad estratégica para su desarrollo. Por lo que el metro de Bogotá, deberá ser un sistema de transporte que incorpore la mitigación y adaptación al cambio climático reduciendo los contaminantes peligrosos para el medio ambiente y la salud de las personas.

6.6.2 Proceso constructivo

El componente de análisis “Proceso constructivo” trata de evaluar los impactos del proyecto sobre el ambiente de vida de los habitantes que viven a lo largo del corredor del trazado durante el periodo de las obras de construcción de la línea de metro.

Los objetivos que debe cumplir el sistema de metro son los siguientes:

- **Limitar las perturbaciones causadas por las obras sobre el tráfico vial y la operación del Sistema Transmilenio**. Durante el periodo de construcción de la línea de metro, cualquier sea el tipo de infraestructura elegida, el impacto de las obras sobre el tráfico es inevitable. Se trata de proponer una PLMB con un impacto limitado a nivel de la perturbación del tráfico. La ciudad de Bogotá cuenta con una red vial jerarquizada amplia. La construcción de la PLMB tendrá necesariamente un impacto sobre el tráfico vehicular por las obras generadas en superficie.
- **Limitar el ruido y las vibraciones generados por la construcción del sistema**. La PLMB debe cumplir con el objetivo de reducir al máximo las molestias vibratorias y sonoras inducidas por las obras de construcción a los ciudadanos.
- **Reducir las interferencias con las redes principales de servicio público**. Durante la construcción de la PLMB se debe proponer la menor interferencia con redes de servicios públicos para reducir costos e impactos sobre la ciudadanía. Cuanto menos numerosas serán las interferencias, menos impacto tendrá.

6.6.3 Urbano-Paisajístico

La articulación de un proyecto de transporte con las dinámicas urbanas y elementos paisajísticos de la ciudad es de gran importancia para la valoración y estructuración de éste en la ciudad, ya que un proyecto de transporte es a su vez un proyecto urbano que impacta el desarrollo físico-espacial, la calidad de vida de los ciudadanos y constituye un potencial para su modificación.

En este sentido el componente urbano-paisajístico trata de evaluar la coherencia de la inserción del proyecto con la dinámica urbana, así como la identificación del potencial de modificación para mejorar la competitividad y calidad de vida de los ciudadanos.

Los objetivos planteados para este componente son los siguientes:

- **Generar un impacto positivo por la inserción urbana del proyecto.** La infraestructura y configuración de la PLMB constituye un potencial para la generación de nuevos elementos estructurantes de la ciudad, como es el espacio público, a la vez que posibilita el desarrollo de proyectos inmobiliarios y la renovación de zonas deprimidas.
- **Reducir los impactos negativos por la inserción urbana del proyecto.** La inserción de la PLMB debe adaptarse a las dinámicas e imagen de la ciudad de manera que no sean alterados significativamente. La afectación de barrios de conservación con interés arquitectónico y/o urbanístico deben ser minimizados, a la vez que los efectos visuales y de fragmentación urbana que puede generar este tipo de proyectos.

6.6.4 Experiencia del usuario

Este componente de análisis trata de indagar acerca de la percepción que tendría el usuario del sistema al utilizar frecuentemente el nuevo sistema de transporte implantado. Los objetivos perseguidos en este ámbito están vinculados a la experiencia del viaje para los usuarios, así como la percepción de seguridad e higiene que tendrán los usuarios al hacer uso de la infraestructura y el servicio de transporte.

Los objetivos que podría cumplir el sistema metro son los siguientes:

- **Apropiación del sistema y de la ciudad cuando se desplaza el usuario.** La PLMB debe cumplir con el objetivo de posibilitar a sus usuarios la lectura de la ciudad y su orientación a lo largo de los trayectos que emprenden; posibilidad de vistas cercanas y lejanas de la ciudad son propicias para alcanzar este objetivo.
- **Percepción de seguridad e higiene del sistema.** La infraestructura y configuración de la PLMB deberán generar en sus usuarios percepciones de seguridad en su uso (cuando se encuentren en los accesos a estaciones, en las estaciones o en sus desplazamientos en el tren), lo cual está condicionado por la iluminación y visibilidad constante. En cuanto a la higiene, además del mantenimiento y limpieza adecuados, la infraestructura construida deberá no propiciar el desarrollo de micro-organismos o vida animal/vegetal nocivos para la salud humana.

6.6.5 Beneficios sociales

Este componente de análisis está relacionado con los aspectos relativos a la demanda y a la oferta de transporte. Los objetivos perseguidos en este ámbito están vinculados a los impactos positivos que debe tener la mejora del sistema de transporte público en la movilidad.

Los objetivos que debe cumplir el sistema de metro son los siguientes:

- **Mejorar el servicio de transporte.** La PLMB debe cumplir el objetivo de ser lo más productiva posible, captando el mayor número de pasajeros, así como mejorar las condiciones de movilidad y la oportunidad de accesibilidad al transporte público de las personas en sus desplazamientos.
- **Integrar eficientemente la línea de metro con la red de Transmilenio existente.** El metro no debe considerarse como un sistema aislado, por lo que este objetivo persigue alcanzar una red de transporte público cohesionada y eficiente, favoreciendo la intermodalidad entre los sistemas de transporte masivo.

6.6.6 Financieros

El componente de análisis “Financiero” se enfoca en el objetivo de establecer la inversión que permita la ejecución presupuestal establecida por la Nación y el Distrito Capital para el desarrollo de la PLMB y de los sistemas de transporte masivo conexos a ella (nuevas troncales de Transmilenio y renovación de actuales). Para el caso de los costos de explotación, el análisis se enfoca en buscar el menor monto de estos costos para permitir una sostenibilidad en el tiempo de vida útil del sistema.

Los objetivos que debe cumplir el sistema de metro son los siguientes:

- **Garantizar que el monto de inversión de la primera línea del metro se encuentre dentro del presupuesto establecido para tal fin**. Se ha establecido un monto presupuestal actualizado al presente (2016) de 12,82 billones de pesos.
- **Garantizar que los costos de explotación del sistema (operación y mantenimiento) sean los menores posibles.** La sostenibilidad financiera del sistema durante su vida útil está supeditada a menores costos de explotación. Un menor costo de explotación por pasajero es el objetivo de la implantación.

6.6.7 Riesgos

El componente riesgos cubre todos los aspectos relacionados con la perpetuidad de la infraestructura de la línea de metro y sus impactos en fases provisionales y definitivas. En el marco de este análisis, será tomado en cuenta para cada alternativa los impactos de los trabajos, los riesgos geotécnicos y sísmicos, los impactos sobre la explotación de la línea y sobre el territorio que la atraviesa.

El empleo de una tuneladora (TBM) para realizar la infraestructura de túnel permite limitar su impacto en la superficie. Sólo las entradas y salidas de la tuneladora (pozos de ataque) necesitan de una superficie de terreno importante, así como en la construcción de cada estación. Los impactos de la construcción de un túnel con tuneladora reside esencialmente alrededor de las obras conexas (ventilación, seguridad contra-incendio, etc.). Los principales impactos serán del orden geotécnico e hidrogeológico.

Las trincheras tienen impactos más importantes en la fase de construcción. En esta fase, la trinchera necesita de importantes superficies en el suelo, siendo que se trata de excavar una trinchera que permitirá construir un "cajón" que después es recubierto. Durante los trabajos, la realización de la trinchera impacta todos los usos del suelo aledaños a ella, las vías de circulación interceptadas pueden ser interrumpidas, las redes de servicios públicos son potencialmente impactadas, etc. La circulación es por tanto perturbada de manera muy importante.

La realización de secciones en viaducto presenta menores riesgos en la deriva del cronograma o costo de construcción, ya que son más conocidas sus características pero pueden tener un mayor impacto sobre su contexto urbano que el de túneles y trincheras en fase de construcción.

6.7 DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS E INDICADORES

La premisa para calcular los indicadores de comparación de las diferentes alternativas, es el de utilizar como base los estudios y diseños realizados por el Consorcio L1 para el trazado con infraestructura subterránea (desarrollado a nivel de ingeniería básica), pero adaptándolos al nivel de ingeniería bajo el cual se han desarrollado las demás alternativas de trazado e infraestructura (nivel de prefactibilidad).

Esto fue necesario realizarlo para homologar las características de cada alternativa al momento de cuantificar los indicadores de comparación entre todas las demás alternativas. Los indicadores desarrollados se describen a continuación.

6.7.1 Componente "Impacto ambiental"

Los criterios ambientales seleccionados, permitirán determinar los principales efectos sobre los recursos, en cada una de las alternativas definidas para este proyecto de infraestructura a desarrollar.

Se contemplan los siguientes cuatro criterios a evaluar:

- **Criterio "Fuentes hídricas"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Interferencia con cuerpos de agua":**

Objetivo	Minimizar los impactos negativos del proyecto sobre la red hídrica.
Unidad de medición	Unidades de cuerpos de agua interferidos (UN)
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	La ciudad cuenta con un recurso hídrico que la atraviesa y dentro del cual se encuentran: ríos, quebradas, humedales y canales, los cuales conducen las aguas hasta el principal cauce fluvial que es el río Bogotá. Por lo que es imprescindible que el desarrollo de infraestructura considere el área de intervención y/o modificación de este recurso.
Método de cálculo	El indicador se calcula como la cantidad de cuerpos de agua que se interceptarán en cada una de las alternativas de trazado, para lo cual se

	empleará el mapa de cuerpos hídricos de la ciudad de Bogotá, para identificar el recurso hídrico existente en el Distrito Capital.
Calificación	La alternativa que tenga el menor número de interferencias con cuerpos de agua es la que resulta mejor puntuada

- **Criterio "Suelo"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Generación de escombros durante la obra":**

Objetivo	Estimar el volumen de escombros para determinar la alternativa de menor impacto por su generación.
Unidad de medición	m^3 generados
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	El desarrollo de las obras civiles genera residuos de toda naturaleza, dentro de los cuales se encuentran los escombros, los cuales son clasificados como residuos especiales. Estos residuos componen el mayor volumen de generación en las obras de infraestructura, principalmente por las actividades asociadas con los movimientos de tierras, las excavaciones y las demoliciones, requiriendo su manejo ambientalmente acorde con las normas vigentes.
Método de cálculo	De acuerdo con las obras generales necesarias para el desarrollo del proyecto, se estimará el volumen de escombros a generar en cada una de las alternativas, teniendo en cuenta estudios realizados anteriormente, así como proyecciones realizadas por generación de las demoliciones prediales requeridas para la construcción del sistema y áreas de cimentaciones
Calificación	La alternativa que tenga el menor volumen de generación de escombros es la que resulta mejor puntuada

- **Criterio "Paisajismo"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Afectación arbórea":**

Objetivo	Minimizar los impactos negativos debidos a la afectación de árboles para la implantación de la infraestructura.
Unidad de medición	Unidades de árboles que requieren manejo (UN).
Naturaleza	Indicador cuantitativo

Descripción	Los individuos arbóreos son un recurso de vital importancia para la sostenibilidad de los ecosistemas de las zonas urbanas. Los árboles en la ciudad aportan belleza al entorno donde se encuentran, sirven de refugio y alimentación para la avifauna, además de contribuir con la regulación climática. Su intervención por los proyectos de ciudad, debe tenerse en cuenta, con el propósito de determinar las medidas de control, prevención y compensación que mitiguen los impactos causados.
Método de cálculo	Para la cuantificación de los individuos arbóreos se empleó la base de datos del Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá (SIGAU) manejado por el Jardín Botánico de Bogotá (JBB), el cual contiene toda la información de los árboles localizados en el espacio público de la ciudad.
Calificación	La alternativa que requiera menor intervención de árboles es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador

- **Criterio "Ruido y vibraciones"**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **"Generación de ruido por la operación del sistema":**

Objetivo	Comparar los niveles de presión sonora que se pueden generar por la operación del sistema, para determinar la alternativa de menor impacto por su generación.
Unidad de medición	Niveles de presión sonora en decibeles (dB)
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	La entrada en funcionamiento de un nuevo sistema de transporte aporta niveles de ruido adicionales a los ya existentes por las actividades propias de una ciudad, lo cual puede generar, perturbaciones sobre las personas y el desarrollo normal de sus tareas diarias.
Método de cálculo	• Para estimar los niveles de presión sonora se tuvieron en cuenta los valores obtenidos en las proyecciones de ruido realizadas en anteriores estudios, para el caso subterráneo, y valores de referencia internacional para el sistema elevado.
Calificación	La alternativa que tenga el menor aporte de niveles de presión sonora resulta la mejor puntuada.

- **"Generación de vibraciones por la operación del sistema":**

Objetivo	Valorar las vibraciones que se pueden generar por la operación del sistema, para determinar la alternativa de menor impacto.
Unidad de medición	NA
Naturaleza	Indicador cualitativo

Descripción	La entrada en funcionamiento de un sistema de movilidad puede generar contaminación por vibraciones que se transmiten hacia las construcciones e infraestructuras contiguas y pueden ser percibidas por las personas. Las vibraciones dependen, entre otros aspectos, de las características mecánicas de los suelos, peso del material rodante y su velocidad de desplazamiento.
Método de cálculo	Para realizar la estimación de las vibraciones generada, se tuvieron en cuenta los umbrales de riesgo de movimientos admisibles establecidos en función de los movimientos y las edificaciones, definidos por el en el plan de auscultación elaborado como parte del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1
Calificación	La alternativa que tenga el menor valor resulta la mejor puntuada.

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los cuatro criterios asociados al componente “impacto ambiental” y a los indicadores son las siguientes:

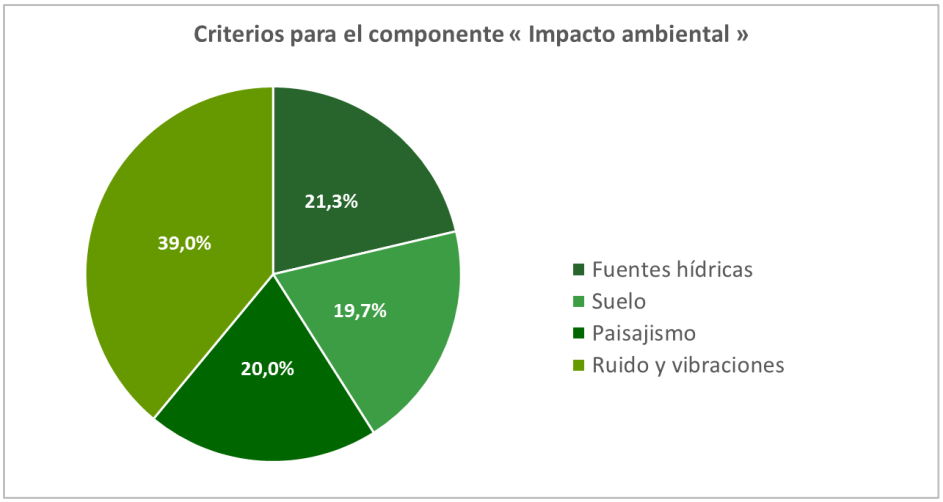


Figura 6.59 Ponderación de los criterios del componente “Impacto Ambiental”- Fuente: CSC

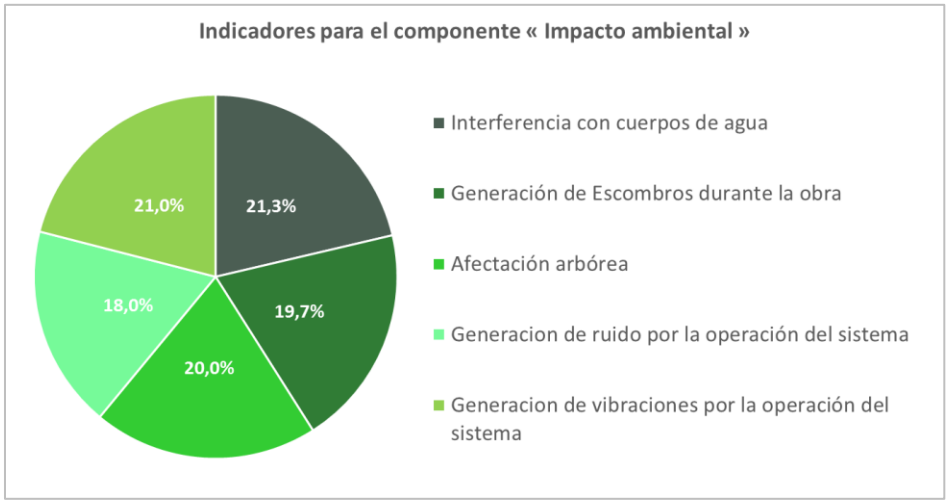


Figura 6.60 Ponderación de los indicadores del componente “Impacto ambiental”– Fuente: CSC

6.7.2 Componente “Proceso Constructivo”

El componente de análisis “Proceso Constructivo” trata de evaluar los impactos producidos por la línea de metro durante su construcción. Se analizan los impactos provocados por las obras en el ambiente de vida entorno al trazado de la PLMB.

Se contemplan cinco criterios a evaluar:

- **Criterio “Rendimiento”**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **“Tiempo de construcción”:**

Objetivo	Considerar la rapidez de construcción de la línea en función de su configuración (tipología subterránea o aérea) y el contexto urbano de cada alternativa
Unidad de medición	Tiempo total de obra en meses, en función de las características estructurales y según la configuración del sitio
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Para cada alternativa, varias zonas serán identificadas y cuantificadas en función de su configuración estructural (túnel, trinchera o viaducto) y su situación dentro del contexto urbano (densidad urbana, redes, calles estrechas, etc.).
Método de cálculo	Para cada opción de trazado, se cuantificarán los rendimientos temporales para cada configuración de la estructura de la línea y las características urbanas donde se localiza cada tramo. Enseguida, la nota global de cada alternativa será calculada a prorrata según la longitud de cada uno de ellos.

Calificación	El tramo u opción de trazado que presente la estructura con un potencial de construcción más rápido y el contexto urbano más favorable tendrá la mejor puntuación

- **Criterio "Daño emergente y lucro cesante"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Perturbación a vecinos comerciales":**

Objetivo	Minimizar los impactos de las obras durante la construcción de la PLMB sobre los establecimientos de comercio
Unidad de medición	Unidades de predios comerciales afectados en el tiempo de construcción (UN/rendimiento construcción)
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Las actividades constructivas causan un daño o perjuicio sobre los establecimientos comerciales que se ubican en el área de influencia de la obra. Dichos establecimientos dejarán de percibir un lucro por sus actividades económicas actuales durante la construcción.
Método de cálculo	A partir de la norma de usos del suelo del POT se realiza la identificación de las unidades comerciales en la primera manzana adyacente al trazado. Dicho valor se verá afectado de forma inversamente proporcional al rendimiento de la construcción de cada alternativa.
Calificación	La alternativa que tiene la menor cantidad de predios comerciales afectados en el tiempo de construcción de las obras obtendrá el puntaje máximo.

- **Criterio "Perturbaciones al Tráfico"**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **"En el tráfico vehicular":**

Objetivo	Minimizar los impactos de las obras durante la construcción de la PLM sobre el tráfico vial
Unidad de medición	Nota
Naturaleza	Indicador cualitativo
Descripción	Estimar la importancia del impacto promedio de las obras sobre la circulación viaria
Método de cálculo	Según el tipo de infraestructura realizada, una zona de influencia durante las obras fue determinada: • viaducto • trinchera cubierta • túnel De allí se estima una nota de 1 a 5 que traduce la importancia del impacto de las obras cada alternativa sobre el tráfico vehicular.

Calificación	La alternativa que tiene la mejor nota obtendrá el puntaje máximo.

- **"En la operación del BRT":**

Objetivo	Minimizar los impactos de las obras de construcción de la PLMB sobre el tráfico de las troncales del Transmilenio
Unidad de medición	Ml de troncales afectadas / rendimiento de construcción
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Evaluar los metros lineales de troncales de Transmilenio afectadas durante el período de construcción de la línea de metro.
Método de cálculo	Según el tipo de infraestructura realizada, una zona de influencia durante las obras fue determinada: • viaducto • trinchera cubierta • túnel De allí se estimarán los metros lineales del total de vías susceptibles de cierre los cuales se verán afectados de forma inversamente proporcional al rendimiento de la construcción de cada alternativa.
Calificación	La alternativa que tiene la menor cantidad de metros lineales de troncales afectadas en el tiempo de construcción delas obras obtendrá el puntaje máximo.

- **Criterio "Ruido y Vibraciones"**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

Objetivo	Comparar los niveles de presión sonora que se pueden generar por la construcción del sistema, para determinar la alternativa de menor impacto por su generación
Unidad de medición	Niveles de presión sonora en decibeles (dB)
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Aunque el ruido forma parte normal de las actividades cotidianas de una ciudad, al desarrollar una obra de infraestructura, se pueden aumentar los niveles de ruido, generando molestias en las actividades humanas desarrolladas en el área de influencia de la zona del proyecto. Las actividades constructivas generan niveles de ruido como consecuencia, principalmente, de la operación de la maquinaria y equipos, el desplazamiento de materiales e insumos desde y hacia las diferentes zonas donde se desarrolla el proyecto y las actividades desarrolladas por la mano de obra empleada en la misma.
Método de cálculo	Para estimar este impacto, se tuvieron en cuenta los valores obtenidos en las proyecciones de ruido realizadas en anteriores estudios, para el caso subterráneo, mientras que para el caso elevado, se tomaron mediciones

	de ruido en campo, realizadas en obras que se asimilan con la construcción de este tipo de proyectos
Calificación	La alternativa que tenga el menor aporte de niveles de presión sonora (dB) en el tiempo de construcción es la que resulta mejor puntuada.

- **"Generación de vibraciones por la construcción del sistema":**

Objetivo	Valorar las vibraciones que se pueden generar durante la construcción del sistema, para determinar la alternativa de menor impacto.
Unidad de medición	NA
Naturaleza	Indicador cualitativo
Descripción	La maquinaria y equipos empleados en el desarrollo de obras de infraestructura pueden generar contaminación por vibraciones que se transmiten hacia las construcciones e infraestructuras contiguas y pueden ser percibidas por las personas. Las vibraciones dependen, entre otros aspectos, de las características mecánicas de los suelos, peso de la maquinaria y equipos, tipo y tiempo de duración de la actividad y velocidad de desplazamiento.
Método de cálculo	Para realizar la estimación de las vibraciones generada, se tuvieron en cuenta los umbrales de riesgo de movimientos admisibles establecidos en función de los movimientos y las edificaciones, definidos por el Consorcio CL1, en el plan de auscultación elaborado como parte del Contrato IDU-849 de 2013.
Calificación	La alternativa que tenga el menor valor resulta la mejor puntuada.

- **Criterio "Redes de Servicios Públicos"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Interferencias con redes principales":**

Objetivo	Minimizar los impactos negativos por los trabajos de desvíos o relocalización de redes de servicios públicos existentes que deberán realizarse por la interferencia con el proyecto.
Unidad de medición	Metros lineales de redes principales posiblemente interferidas
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Teniendo en cuenta las diferentes redes de servicios públicos construidas sobre y debajo de las vías urbanas, y la dificultad que en la mayoría de los casos estas redes presentan para la construcción de obras de infraestructura debido a la aparición de interferencias, se hace necesario prever dichas interferencias para garantizar que las obras a desarrollar no vayan a ser interrumpidas, con los consecuentes perjuicios en el avance de la obra y los costos.

Método de cálculo	Para cada tipo de red de servicio público, se realizará el cálculo de metros lineales de ***infraestructura principal*** que interfieren con cada una de las alternativas de trazado, según se describe a continuación: • Acueducto: se estimarán los metros lineales de red matriz (Φ > 14") que requerirán ser intervenidos. • Alcantarillado: se estimarán los metros lineales de colectores cuyo diámetro sea mayor a 1m y todos los interceptores que requerirán ser intervenidos. • Energía: se estimarán los metros lineales de infraestructura de alta tensión que requerirán ser intervenidos. • Gas: se estimarán los metros lineales de tuberías con diámetros de más de 4" que requerirán ser intervenidos.
Calificación	La alternativa que arroje menos cantidad de metros lineales de redes principales interferidas por el trazado es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los tres criterios asociados al componente "proceso constructivo" y a los indicadores son las siguientes:

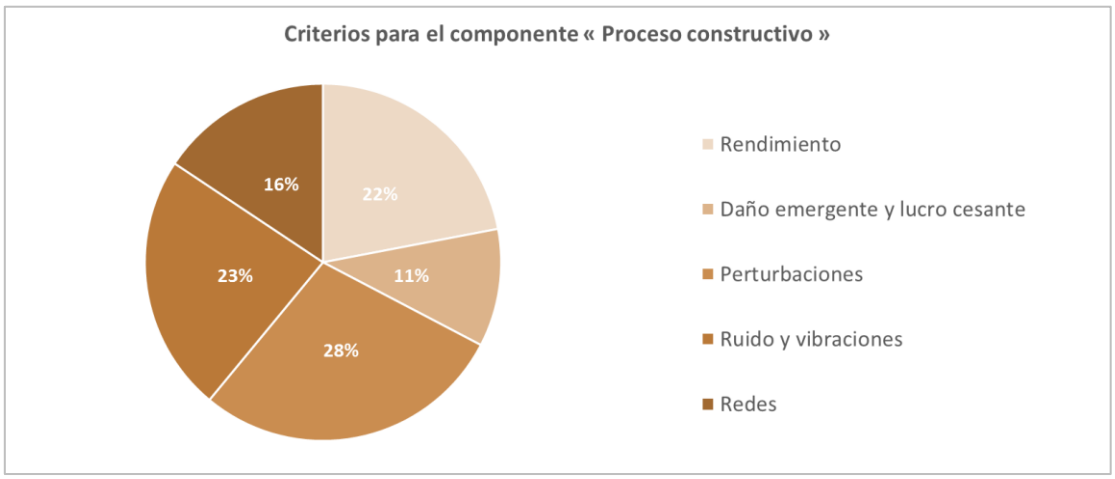


Figura 6.61 Ponderación de los criterios del componente "Proceso constructivo" – Fuente: CSC

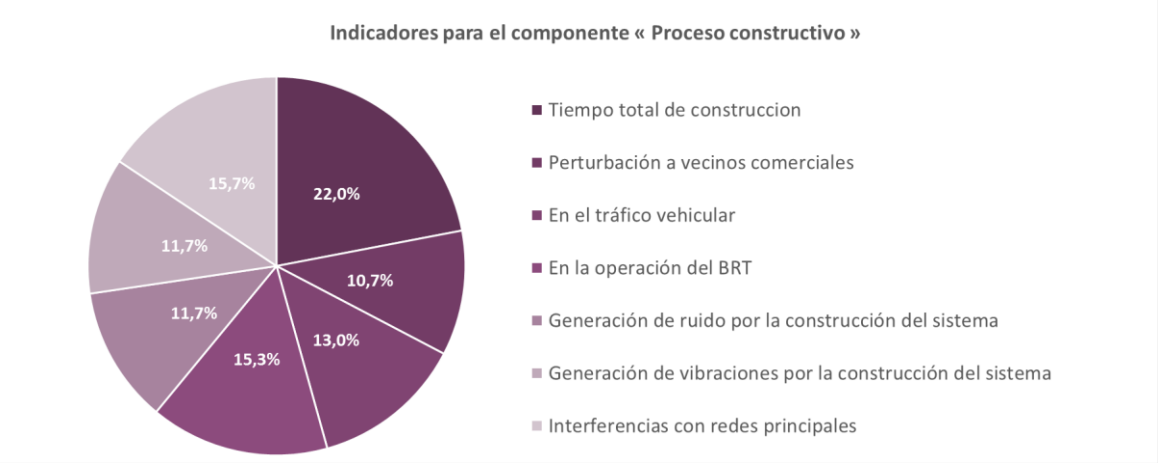


Figura 6.62 Ponderación de los indicadores del componente “Proceso constructivo” – Fuente: CSC

6.7.3 Componente “Urbano-Paisajístico”

Como se mencionó en la introducción, el componente “Urbano-Paisajístico” se enfoca en evaluar la coherencia de la inserción del proyecto con la dinámica e imagen urbana, de manera que se minimicen los impactos negativos; así como la identificación del potencial de renovación que permitan generar nuevos desarrollos físico-espaciales y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

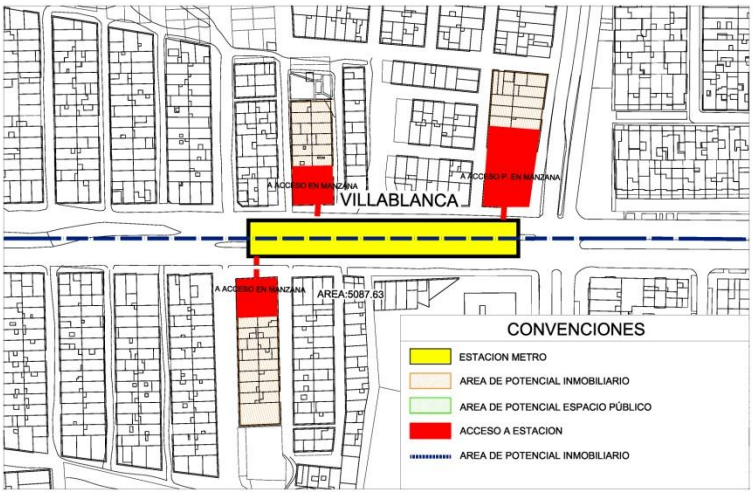
En este sentido se contemplan dos criterios a evaluar:

- **Criterio “Renovación Urbana”**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

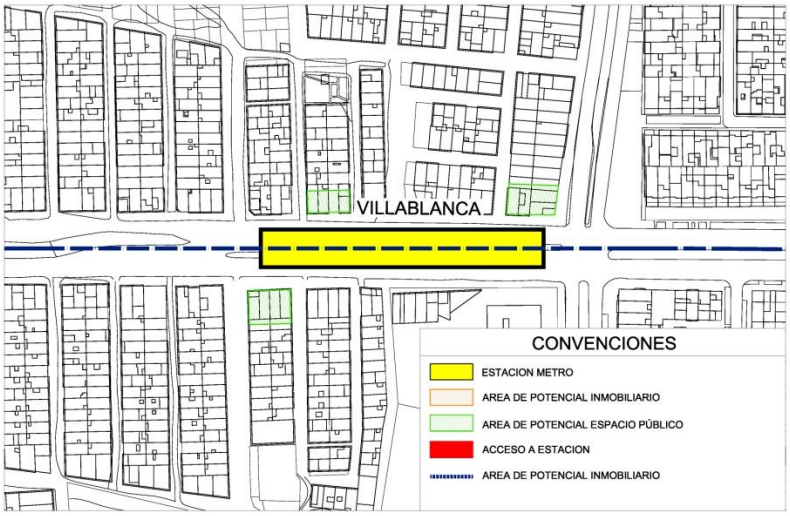
- **“Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios”:**

Objetivo	Aprovechar las oportunidades generadas por la inserción del sistema para el desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios.
Unidad de medición	m^2 con potencial inmobiliario construibles
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Por la implantación de un nuevo sistema se requerirá la adquisición de predios, así como la modificación de un entorno urbano, lo cual genera un potencial de desarrollo social, económico y urbano cuyo aprovechamiento y orientación permiten igualmente una optimización de la función del transporte.
Método de cálculo	A partir de la identificación de las zonas de renovación en el ámbito de influencia de las estaciones, así como por efectos de la compra de predios por el trazado y estaciones, se calcula, para cada alternativa, el potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios.

	La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de este indicador: 
Calificación	La alternativa que arroje una mayor superficie construible en el conjunto de estaciones y trazado es la que resulta mejor puntuada en este indicador

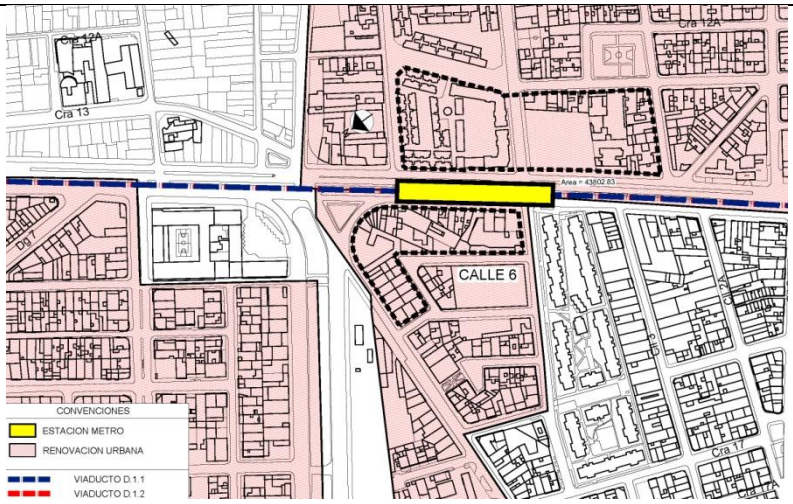
- **"Potencial de generación de espacio público":**

Objetivo	Generar zonas de espacio público por la inserción urbana del proyecto.
Unidad de medición	m^2 de espacio público
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	El espacio público constituye uno de los elementos estructurantes de una ciudad y tiene, a su vez, una estrecha relación con los sistemas de movilidad. La inserción de un proyecto de transporte debe estar contenida en un proyecto urbano integral, que tenga como finalidad satisfacer las necesidades de los ciudadanos en términos de movilidad y espacio público.
Método de cálculo	A partir de la hipótesis de desarrollo del espacio público que SYSTRA determine tanto alrededor de las estaciones como por efectos del trazado: por su ubicación dentro de la sección vial (en el centro o laterales) y en altimetría (subterráneo o elevado), se calcula, para cada alternativa, el ***potencial*** de m^2 de espacio público que puede generar el proyecto. La hipótesis de desarrollo debe estar en concordancia con el diseño conceptual de las estaciones y su inserción en el espacio urbano. La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de

	este indicador: 
Calificación	La alternativa que arroje una mayor superficie potencial de espacio público es la que resulta mejor puntuada en el presente indicador

- **"Potencial de recuperación de zonas deprimidas":**

Objetivo	Aprovechar las oportunidades generadas por la inserción del sistema para la recuperación de zonas deprimidas.
Unidad de medición	m^2 renovables
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	En las dinámicas de desarrollo de las ciudades pueden darse la aparición de zonas deprimidas con altos índices de pobreza y exclusión socioeconómica. La inserción de un nuevo sistema puede constituir una oportunidad para la recuperación de estas zonas de la ciudad
Método de cálculo	A partir de la identificación de las zonas deprimidas en el ámbito de influencia del proyecto (primera manzana adyacente), se calculan los m^2 que cada estación tendría la posibilidad de recuperar urbanísticamente. La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de este indicador, donde el área calculada corresponde con las zonas de renovación de la primera manzana adyacente (polígono punteado):

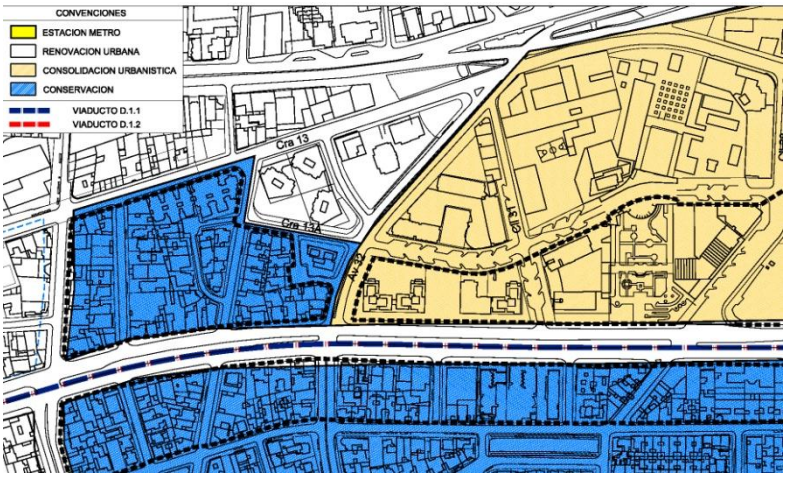
	
Calificación	La alternativa que arroje una mayor superficie con potencial de recuperación es la que resulta mejor puntuada en este indicador

- **Criterio "Impacto Urbano"**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **"Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico":**

Objetivo	Minimizar los impactos sobre barrios de interés arquitectónico y/o urbanístico por la inserción del sistema.
Unidad de medición	m^2 afectados
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Los tratamientos urbanísticos son instrumentos normativos que orientan de manera diferenciada, las intervenciones que se puedan realizar en el territorio, el espacio público y las edificaciones según las características físicas y las dinámicas del ámbito de aplicación, acorde al Modelo de Ordenamiento adoptado (POT). Dentro de los tratamientos, se define el de ***Conservación y Consolidación***, como los que tienen por objeto proteger el patrimonio cultural de la ciudad representado en las áreas que poseen valores urbanísticos, históricos, arquitectónicos y ambientales, recuperando y poniendo en valor las estructuras representativas de una época del desarrollo de la ciudad, e involucrándolas a la dinámica y las exigencias del desarrollo urbano, en concordancia con el modelo de ordenamiento territorial.
Método de cálculo	A partir de la identificación de las áreas de tratamiento de conservación y consolidación de tipo urbanístico y arquitectónico, en el ámbito de influencia de las estaciones y por efectos de trazado de acuerdo con el

	POT (decreto 190 de 2004), se calcula, para cada alternativa, los m^2 de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico que podrían ser afectados en la primera manzana adyacente. La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de este indicador: 
Calificación	La alternativa que arroje una menor afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico por estaciones y trazado es la que resulta mejor puntuada en este indicador.

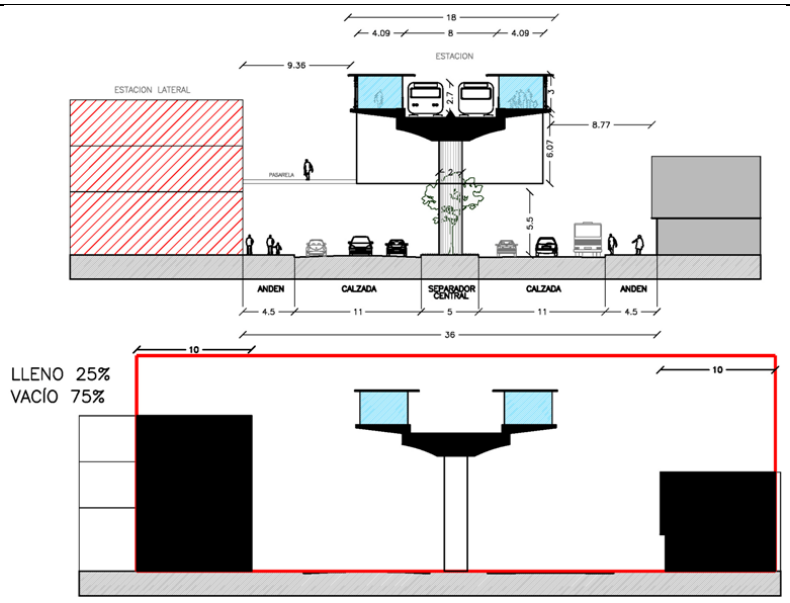
- **“Proximidad con edificaciones”:**

Objetivo	Minimizar los impactos generados por la proximidad del sistema con las edificaciones (fachadas y cimentaciones).
Unidad de medición	Metros lineales
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	La distancia entre el límite exterior del proyecto y la edificación constituye un factor determinante sobre la calidad visual y paisajística, así como de la seguridad del sistema y sobre la calidad de vida de los mismos habitantes de los predios. Se considera para los tramos con tipología elevada como criterio una proximidad mínima de 10 m en tramos rectos y de 8 m en tramos curvos. Por su parte para los tramos subterráneos, según el estudio de auscultación realizado por CL1 se considera una distancia crítica de afectación a cimentaciones de 10 m a partir del eje del túnel o trinchera.
Método de cálculo	A partir del perfil vial y el trazado de la línea de metro, considerando una estructura típica, se determina el promedio de metros lineales que separan el proyecto de las edificaciones: para los tramos elevados sería respecto a fachadas y para los tramos subterráneos respecto a las cimentaciones. La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método

	de cálculo de este indicador:
Calificación	La alternativa que arroje una menor proximidad con fachadas es la que resulta mejor puntuada en este indicador

- **"Impacto visual":**

Objetivo	Minimizar el impacto visual generado en el entorno urbano por la inserción de los nuevos elementos de infraestructura
Unidad de medición	Porcentaje de área construida sobre área libre
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	La inserción de una nueva infraestructura en el entorno urbano genera un impacto visual en los habitantes de la ciudad, que puede evaluarse según la calidad y/o fragilidad paisajística y sus efectos de integración/desintegración, visibilidad y proporción.
Método de cálculo	A partir de la división del espacio, entre área construida y área libre, se calcula la proporción de estos sobre el área analizada. Este indicador arroja el impacto de una nueva construcción sobre el espacio urbano existente. La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de este indicador:

	 Este cálculo se propone realizar tanto en planta como en altura.
Calificación	La alternativa que arroje una menor proporción de área construida sobre área libre es la que resulta mejor puntuada en este indicador

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los seis criterios asociados al componente “urbano-paisajístico” y a los indicadores son las siguientes:

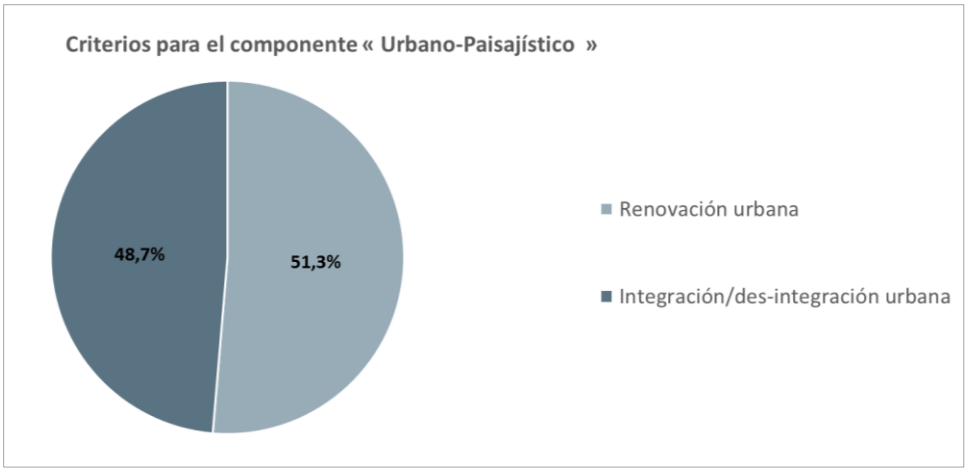


Figura 6.63 Ponderación de los criterios del componente “Urbano Paisajístico”– Fuente: CSC

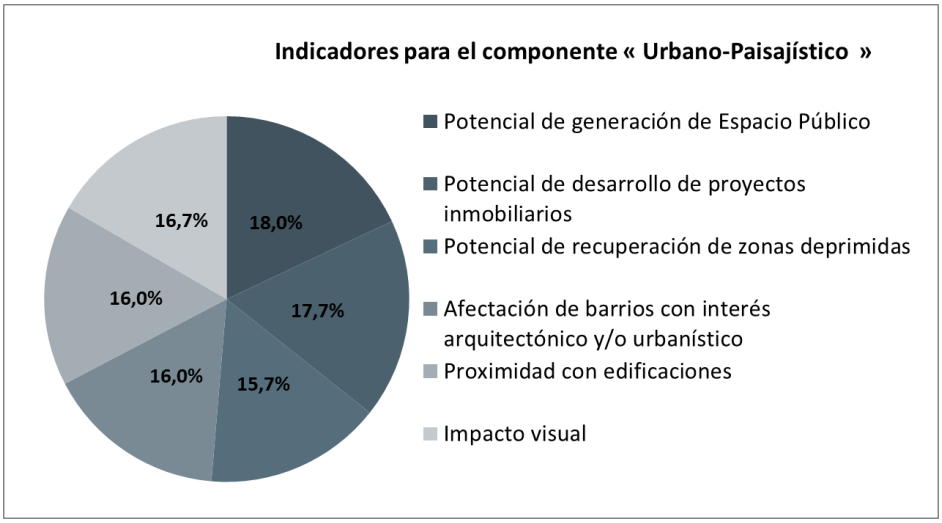


Figura 6.64 Ponderación de los indicadores del componente “Urbano Paisajístico”– Fuente: CSC

6.7.4 Componente “Experiencia del Usuario”

Como se mencionó en la introducción, el componente de análisis “Experiencia del Usuario” se enfoca en los impactos positivos o negativos del proyecto de transporte sobre la posibilidad que tienen sus usuarios de apropiarse, mediante su uso, del entorno urbano cercano donde se implanta el sistema y de la ciudad misma. Igualmente, la percepción de seguridad e higiene son indicadores de la aceptación y confianza cuando los pasajeros hacen uso de sus servicios.

Se contempla un criterio a evaluar:

- **Criterio “Percepción en el uso del sistema de transporte”**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **“Apropiación de la ciudad”:**

Objetivo	La PLMB debe cumplir el objetivo de posibilitar a sus usuarios la lectura de la ciudad y su orientación a lo largo de los trayectos que emprenden; posibilidad de visualizar la ciudad son propicias para alcanzar este objetivo
Unidad de medición	Nota
Naturaleza	Indicador cualitativo
Descripción	Existen dos posibilidades de configuración de la infraestructura lineal para el desplazamiento de los usuarios: desplazamiento elevado y desplazamiento bajo tierra. En el primero de los casos, los usuarios tienen la posibilidad de percibir la ciudad y de orientarse al momento del uso del sistema, en el segundo caso los usuarios desarrollan limitadas maneras de orientación en la ciudad (especialmente a nivel de estación).

Método de cálculo	Calificación ponderada según las longitudes de los tramos elevados y subterráneos para cada alternativa. Se asigna una puntuación de 3 a tramos elevados y 1 a tramos subterráneos.
Calificación	Las alternativas que responden a la posibilidad de apropiación de la ciudad obtienen el mejor puntaje

- **"Percepción de seguridad":**

Objetivo	La infraestructura y su configuración en la PLMB deberán generar en sus usuarios y vecinos percepciones de seguridad
Unidad de medición	Nota
Naturaleza	Indicador cualitativo
Descripción	Existen dos posibilidades de configuración de las estaciones: elevadas y subterráneas al igual que sus accesos. Según el tipo de infraestructura, los usuarios y vecinos podrán percibir distintos niveles de seguridad cuando se encuentren usando las estaciones o cuando se encuentren al exterior de ellas, lo cual está condicionado por la transparencia de las edificaciones, su iluminación, las condiciones de los accesos a estación y la posibilidad de ver desde el exterior lo que pasa en el interior de ellas
Método de cálculo	Calificación ponderada según la cantidad de estaciones elevadas y subterráneos para cada alternativa. Se asigna una puntuación de 3 a estaciones elevadas y 2,5 a estaciones subterráneas.
Calificación	Las alternativas que brinden mayor posibilidad de generar una percepción de seguridad por las características de las estaciones y sus accesos tendrán mejor nota

- **"Salubridad e higiene":**

Objetivo	La infraestructura construida deberá no propiciar la instalación de roedores y/o microorganismos asociados a la humedad
Unidad de medición	Nota
Naturaleza	Indicador cualitativo
Descripción	A pesar del mantenimiento y limpieza adecuados a la infraestructura (estaciones e infraestructura lineal de transporte), existen configuraciones que propician la proliferación de roedores, insectos rastreros y microorganismos asociados a la humedad y el agua. La configuración lineal de túnel tiene un mayor potencial para que suceda esta situación
Método de cálculo	Calificación ponderada según las longitudes de los tramos elevados y subterráneos para cada alternativa. Se asigna una puntuación de 3 a tramos elevados y 1 a tramos subterráneos.
Calificación	Las alternativas que ofrecen menor posibilidad para la proliferación de roedores, insectos rastreros y microorganismos obtienen el mejor puntaje

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los tres criterios asociados al componente "experiencia del usuario" y a los indicadores son las siguientes:

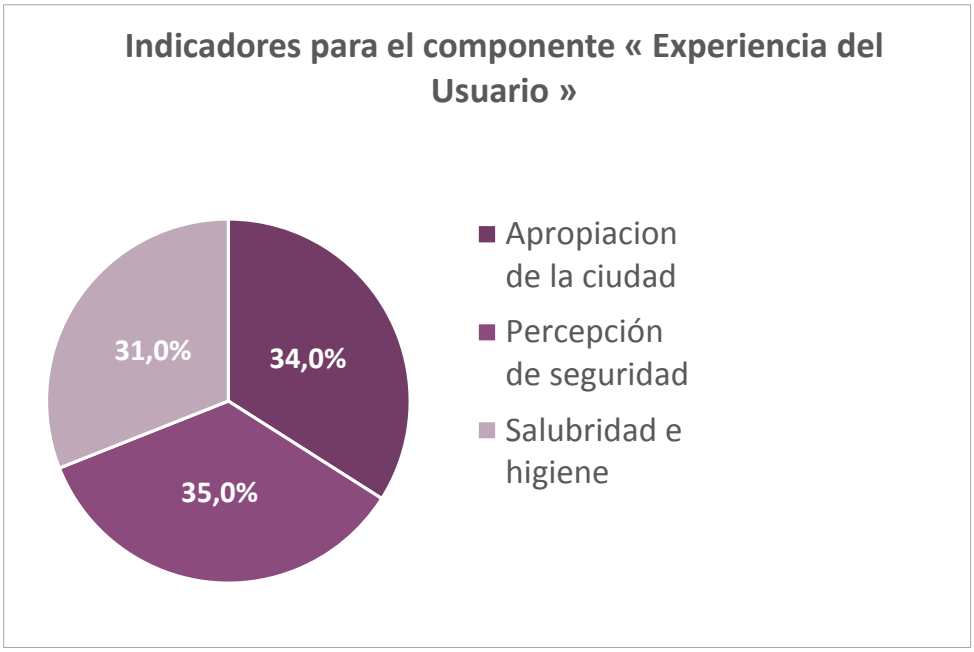


Figura 6.65 Ponderación de los indicadores del componente "Experiencia del Usuario"- Fuente: CSC

6.7.5 Componente "Beneficios Sociales"

Como se mencionó anteriormente, el componente de análisis "Beneficios Sociales" se enfoca en los impactos positivos o negativos del proyecto de transporte sobre la eficiencia y el nivel de servicio proporcionado por el servicio de transporte público en la ciudad de Bogotá. Los valores utilizados en el marco de este componente proceden del modelo de transporte realizado por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) de la Alcaldía de Bogotá.

Se contemplan dos criterios a evaluar:

- **Criterio "Mejoras de transporte"**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **"Pasajeros transportados (HP)":**

Objetivo	Captar el mayor número de pasajeros para mejorar la productividad de la PLMB
Unidad de medición	N° de embarques
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Representa la demanda del sistema metro en hora pico de la mañana.

Método de cálculo	Suma del número abordajes para el modo metro, resultante de la asignación de la matriz de transporte público en la hora pico al año 2030 para cada una de las alternativas analizadas.
Calificación	Las alternativas que responden a la mayor demanda en hora pico obtienen el mejor puntaje.

- **"Ahorros en tiempo":**

Objetivo	Mejorar las condiciones de movilidad en transporte público
Unidad de medición	Minutos ahorrados
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Reducción del tiempo de viaje en la red de Transporte Masivo.
Método de cálculo	Diferencia de tiempo medio de viaje entre el escenario de base y la alternativa considerada al año 2030.
Calificación	Las alternativas que mejoran en mayor proporción el tiempo de viaje en comparación con el servicio existente en un determinado viaje obtienen el mejor puntaje

- **Criterio "Integración BRT"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Facilidad de conexión BRT-Metro":**

Objetivo	Integrar eficientemente la línea de metro con la red del Sistema Transmilenio existente
Unidad de medición	N° de estaciones en correspondencia + estaciones en viaducto
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Oportunidad de realizar conexiones fáciles entre BRT y metro.
Método de cálculo	Suma del número de estaciones en correspondencia Metro-BRT y entre ellas, situación de inserción (en viaducto y subterráneas)
Calificación	Las alternativas de proyecto que ofrecen el mayor número de conexiones en superficie entre la línea de metro y una de los servicios de Transmilenio / SITP obtienen el mejor puntaje

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los tres criterios asociados al componente "beneficios sociales" y a los indicadores son las siguientes:

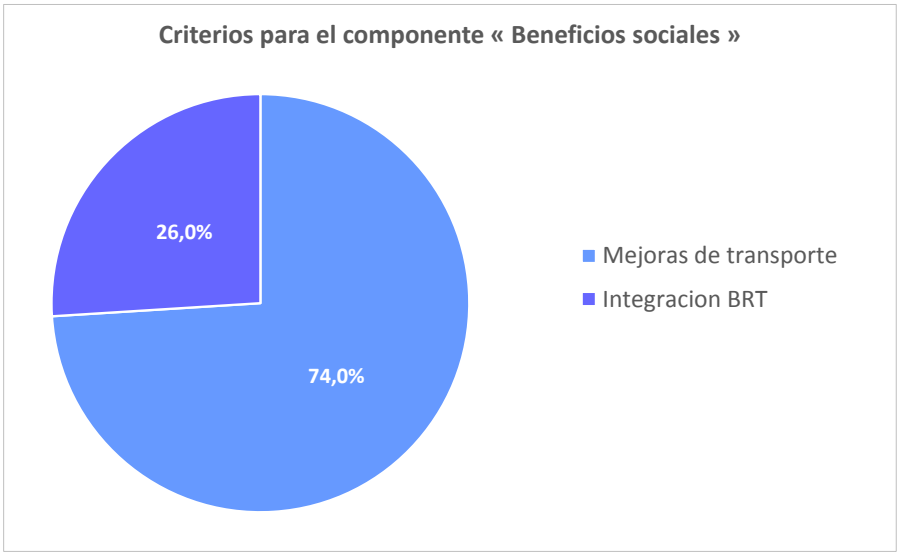


Figura 6.66 Ponderación de los criterios del componente “Beneficios sociales” – Fuente: CSC

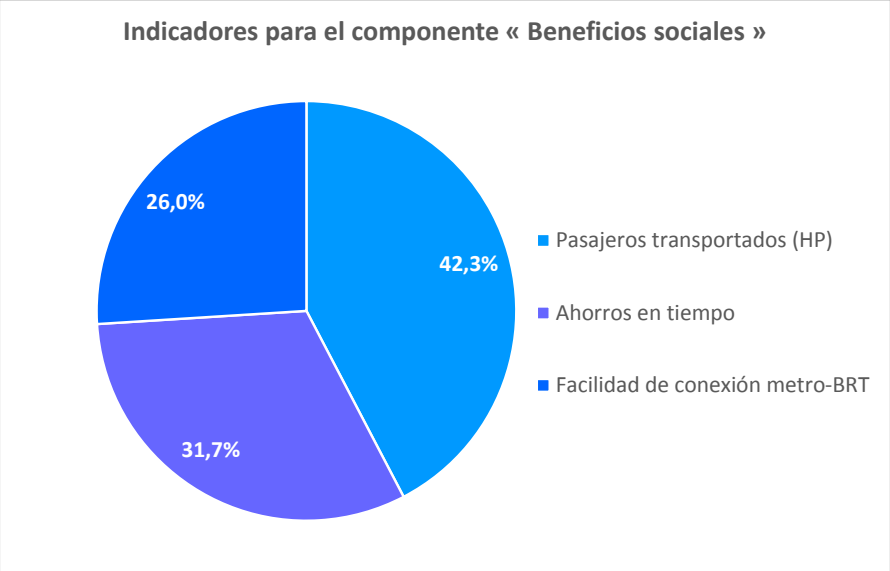


Figura 6.67 Ponderación de los indicadores del componente “Beneficios sociales” – Fuente: CSC

6.7.6 Componente “Financiero”

El componente de análisis “Financiero” se enfoca en el objetivo de establecer un costo de inversión que permita la ejecución presupuestal establecida por la Nación y el Distrito para el desarrollo de la PLMB la repotenciación de las troncales existentes asociadas directamente al proyecto. Para el caso de los costos de explotación, el análisis se enfoca en establecer el menor monto de estos costos para permitir una sostenibilidad en el tiempo de vida útil del sistema. Los valores utilizados en el marco de este análisis proceden en parte del modelo de transporte realizado por la SDM, la

ingeniería básica del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1 y de cálculos independientes establecidos por SYSTRA a partir de experiencias internacionales y locales.

Se contempla un criterio a evaluar:

- **Criterio "Costos de inversión y explotación"**

Los indicadores utilizados para evaluar este criterio son los siguientes:

- **"Costos de inversión sistema metro por kilómetro (incluye predios)":**

Objetivo	Establecer el menor costo de inversión que permita la ejecución de una primera fase del metro.
Unidad de medición	COP total inversión (incluye predios)/longitud de la línea sin ramal al patio taller (Km)
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	El costo de inversión de las alternativas de trazado y su configuración de infraestructura (túnel, trinchera, viaducto) serán cuantificadas según análisis de costos unitarios establecidos por SYSTRA con base en el proyecto precedente de CL1 y a partir de información secundaria de proyectos locales con características similares y de proyectos internacionales.
Método de cálculo	Valorización en COP de la inversión por componente del sistema, por concepto de obra civil (Km túneles, trincheras y viaductos), sistema ferroviario (puesto de control, alimentación eléctrica, señalización, sistema de comunicación), material rodante, estaciones, talleres y cocheras, intervenciones urbanas (andenes, vías, paisajismo, puentes peatonales y vehiculares), obras adicionales (estructuras afectadas, desvío de redes, desvío de tráfico) y otros costos (pre inversión y seguimiento en obra, manejo ambiental y social, afectación predial, entre otros)
Calificación	Las alternativas de proyecto que ofrecen el menor costo de inversión para la línea de metro obtienen el mejor puntaje

- **"Costos de operación y mantenimiento":**

Objetivo	Ahorrar la generación de costos de explotación (entendidos como los de operación y mantenimiento) mediante la menor presencia de equipamiento y el consumo eléctrico generado
Unidad de medición	USD/tren. Kilómetro
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Los principales costos de operación y mantenimiento están representados en el personal, el consumo eléctrico, el mantenimiento y remplazo de elementos de la vía, del material rodante y de los equipamientos fijos en estación y a lo largo de la infraestructura lineal de transporte. En el caso de un túnel, es necesario equiparlo con un sistema

	de ventilación y anti fuego que tendrá que estar funcionado en permanencia, así como un sistema de iluminación adecuado. En el caso de las estaciones subterráneas, el equipamiento de ventilación y extracción de humo es primordial tenerlo en adecuadas condiciones de funcionamiento para evitar consecuencias negativas en la eventualidad de incendios. Todo lo anterior representa un mayor consumo eléctrico y de personal de mantenimiento
Método de cálculo	Los costos de operación y mantenimiento se calculan habitualmente como todos los costos generados en un período de tiempo, distribuidos en los kilómetros recorridos por cada tren o vagón, esto es el costo por tren. Kilómetro o vagón. Kilómetro. Se considera un costo vagón. kilómetro compuesto por costos fijos (personal) y costos variables (consumo eléctrico, mantenimiento de la vía y de los equipamientos en estación y en la infraestructura lineal de transporte) para el caso de kilómetros recorridos en viaducto y en túnel (se considerarán los costos fijos iguales para cada tipo de infraestructura ya que son comunes)
Calificación	Las alternativas de proyecto que ofrecen el menor costo de explotación, obtienen el mejor puntaje

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los dos criterios asociados al componente “financiero” y a los indicadores son las siguientes:

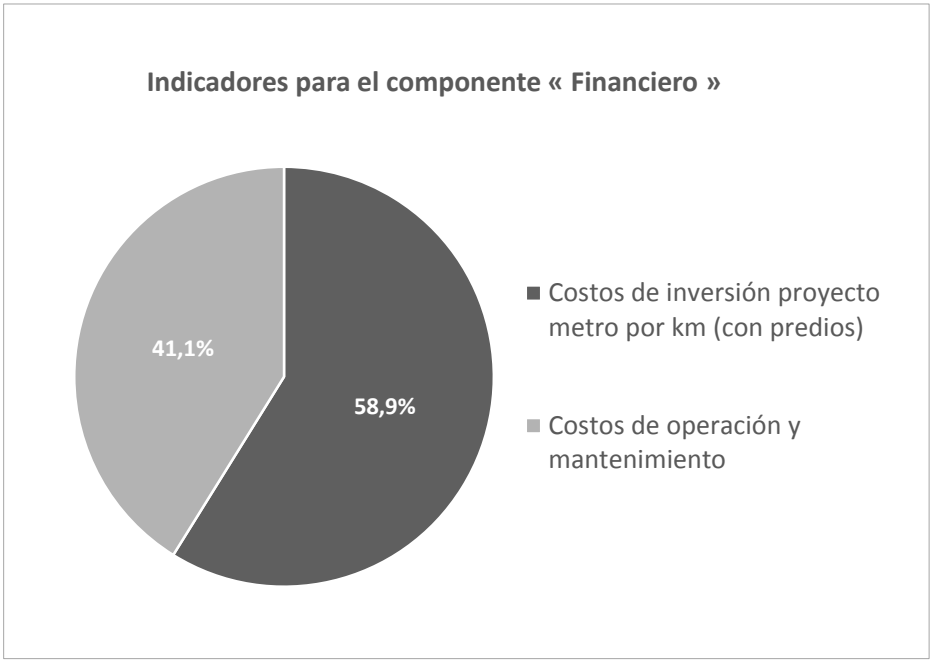


Figura 6.68 Ponderación de los criterios del componente “Financiero” ” – Fuente: CSC

6.7.7 Componente “Riesgos”

En el marco de este análisis, serán considerados, para cada alternativa de trazado y configuración de la infraestructura, los riesgos naturales, prediales y financieros.

Se contemplan cinco criterios a evaluar:

- **Criterio “Riesgo geotécnico”**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **“Características geotécnicas”:**

Objetivo	Considerar el contexto geotécnico e hidráulico de cada alternativa
Unidad de medición	Nota de 3 a 5
Naturaleza	Indicador cualitativo
Descripción	El contexto geotécnico será tomado en consideración principalmente para identificar los impactos sobre las estructuras de la línea en función de la configuración de cada tramo (subterráneo, trinchera o viaducto)
Método de cálculo	El contexto geotécnico es generalmente desfavorable para las estructuras subterráneas más que para las estructuras aéreas. Sin embargo, en el contexto de Bogotá, el impacto sobre las soluciones aéreas es muy importante por el tipo de suelo. Por esta razón, parece que el impacto geotécnico es bastante próximo para los dos tipos de estructuras. Algunos impactos identificados para el túnel: • Riesgo por causa del agua en las estaciones • Riesgo de inestabilidad en la excavación • Riesgo de frente mixto debido a la presencia de masas rocosas no previstas Algunos impactos identificados para el viaducto: • Fundaciones con profundidades importantes • Dimensiones importantes de fundaciones profundas • Riesgos de desplazamientos importantes de los apoyos En función de la configuración del tramo de línea y del contexto geotécnico, se estimará una nota de 1 a 5 que traducirá el nivel de riesgo geotécnico asociado. Enseguida, la nota global de cada alternativa será calculada a prorrata según la longitud de cada uno de los tramos.
Calificación	El tramo en viaducto y/o túnel que se encuentre en un contexto geotécnico favorable obtendrá un mejor puntaje

- **Criterio "Riesgo sísmico"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Riesgo sísmico para las estructuras":**

Objetivo	Considerar el contexto sísmico de cada alternativa
Unidad de medición	Nota de 3 a 5
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	El contexto sísmico será considerado especialmente para identificar los impactos sobre las estructuras de la línea en función de la configuración de cada tramo (subterráneo, trinchera o viaducto) y de la microzonificación sísmica.
Método de cálculo	Se estimará una nota de 1 a 5 que traducirá el nivel de riesgo asociado a la sección de la línea y el contexto sísmico del sitio. Enseguida, la nota global de cada alternativa será calculada a prorrata según la longitud de cada uno de los tramos.
Calificación	Los tramos u opciones de trazado con menor afectación por las características sísmicas tendrá el mayor puntaje

- **Criterio "Riesgo sobre el Cronograma"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Incertidumbre sobre el rendimiento de construcción":**

Objetivo	Considerar el criterio de rendimiento de la construcción de la línea en función de su configuración (subterránea o aérea) y el contexto urbano del trazado (densidad urbana, redes, calles estrechas, etc.)
Unidad de medición	Nota de 3 a 5
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Para cada alternativa, varias zonas serán identificadas y cuantificadas en función de su configuración estructural y su situación dentro del contexto urbano. Los principales puntos que intervienen en la cuantificación del rendimiento de la construcción son la configuración de la línea (subterránea o aérea), así como la configuración urbana del sitio de construcción (anchos de las vías para permitir la operación de camiones y/o grúas) y las características geotécnicas de los suelos.

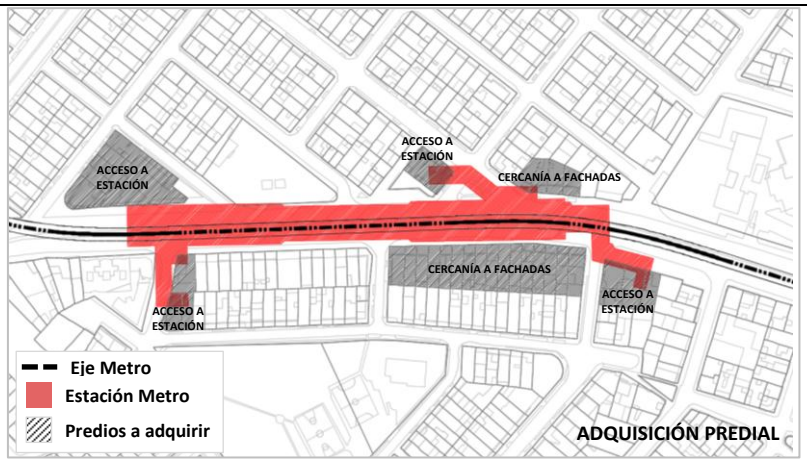
Método de cálculo	Se estimará una nota de 1 a 5 que traducirá el nivel de riesgo asociado a la sección de la línea y el contexto geotécnico, urbano y constructivo del sitio. Enseguida, la nota global de cada alternativa será calculada a prorrata según la longitud de cada uno de los tramos.
Calificación	La opción de trazado y configuración de infraestructura que sea más rápida a construir (tipología) y el contexto urbano más favorable (trazado) para los trabajos tendrá una mejor puntuación

- **Criterio "Riesgo de Gestión Predial"**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Capacidad de gestión para la adquisición predial":**

Objetivo	Minimizar el riesgo de demoras en la gestión predial
Unidad de medición	No. de predios posiblemente afectados
Naturaleza	Indicador Cuantitativo
Descripción	Ciertas obras de infraestructura urbana requieren de la adquisición predial, lo cual se deriva del trazado de la obra y en coherencia con la reserva vial. Dicha adquisición implica una gestión social, económica, inmobiliaria y jurídica que se analiza en cada caso particular, con el consiguiente riesgo para la ejecución del proyecto. Se toma como supuesto que una mayor cantidad de predios implica una mayor gestión y por tanto mayor riesgo. No obstante, es de aclarar que los diferentes procesos y procedimientos en materia predial están relacionados con criterios técnicos y jurídicos y que su gestión en los cuatro componentes mencionados varía en cada caso particular, por lo que se pueden dar casos excepcionales que signifiquen un mayor riesgo, sin estar asociado al número de predios. Dichos casos no serán tenidos en cuenta para el presente análisis.
Método de cálculo	A partir de la inserción del proyecto en el plano catastral, se identifica el número de predios que se ven afectados por la inserción del proyecto y que deberán ser adquiridos para la ejecución de la obra. La siguiente figura ilustra, a modo de ejemplo, el método de cálculo de este indicador:

	 La inserción del proyecto debe estar en coherencia con la hipótesis de desarrollo urbano y del diseño conceptual de las estaciones y del trazado del viaducto.
Calificación	La alternativa del proyecto que arroje un menor número de predios que requieren ser adquiridos, es la que resulta mejor puntuada en este indicador.

- **<u>Criterio "Riesgo Financiero"</u>**

El indicador utilizado para evaluar este criterio es el siguiente:

- **"Incertidumbre sobre el costo del proyecto":**

Objetivo	Minimizar las incertidumbres sobre el costo del proyecto
Unidad de medición	Nota de 3 a 5
Naturaleza	Indicador cuantitativo
Descripción	Las alternativas tienen diferencias en la inserción y en los tipos de infraestructura; tienen tramos en túnel, trinchera, o viaducto. Cada tipo de infraestructura representa un riesgo financiero de nivel diferente. Entonces, el nivel de riesgo global de las alternativas resulta de la combinación de los niveles de riesgo geotécnico, sobre el rendimiento de construcción, y los costos de inversión de cada tipo de infraestructura.
Método de cálculo	A partir de los niveles de riesgos estimados para cada tipo de infraestructura en el contexto de Bogotá y según la experiencia de SYSTRA, el nivel de riesgo financiero de cada alternativa será calculado con la combinación de riesgos asociados a los metros lineales de túnel, trinchera y viaducto de cada alternativa.
Calificación	La alternativa que tenga el nivel de riesgo mínimo tendrá el mejor puntaje

En el marco del análisis multicriterio, las ponderaciones de los cinco criterios asociados al componente “riesgos” y a los indicadores son las siguientes:

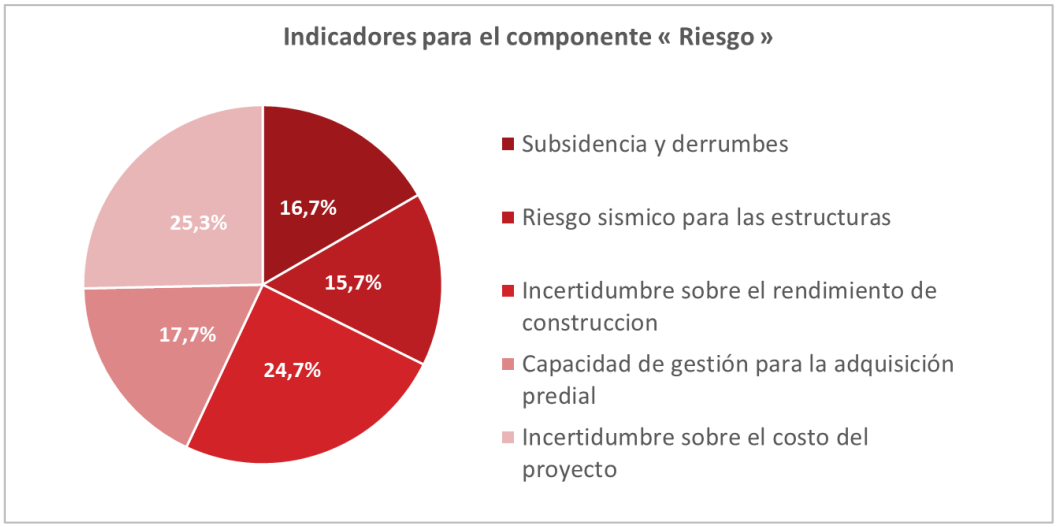


Figura 6.69 Ponderación de los criterios del componente “Riesgos” – Fuente: CSC

6.8 CUANTIFICACIÓN DE LOS INDICADORES Y CALIFICACIÓN

Se presenta a continuación para cada indicador, la cuantificación de sus impactos y la calificación obtenida según sus resultados.

La metodología de calificación consiste en lo siguiente:

Calificación cuantitativa: las notas se distribuyen entre 5 grupos de “A” a “E”, siendo la A la mejor nota y la E la menor nota. Para todos los criterios cuantitativos, los resultados siempre se distribuirán en estas 5 categorías, por tanto, siempre se tendrán en las calificaciones cuantitativas una mejor (“A”) y una menor alternativa (“E”) calificada.

Calificación cualitativa: las notas podrán ser distribuidas entre 5 grupos de “A” a “E”, pero no es obligatorio que siempre exista una mejor o peor notada. La apreciación cualitativa se basa en el juicio de experto.

6.8.1 Componente “Impacto ambiental”

- **Criterio “Fuentes hídricas”, indicador interferencia con cuerpos de agua**

Con base en el mapa de las fuentes hídricas de la ciudad y el trazado de cada una de las alternativas evaluadas, se identificaron en sentido sur - norte, los siguientes cuerpos de agua:

- Canal Tintal II.
- Río Seco.
- Canal Albina.
- Canal Fucha.
- Canal San Francisco
- Río Arzobispo.
- Canal Molinos.
- Canal Virrey.
- Canal Callejas.

En la siguiente figura se presentan las fuentes hídricas anteriormente relacionadas, junto con las alternativas de trazado.

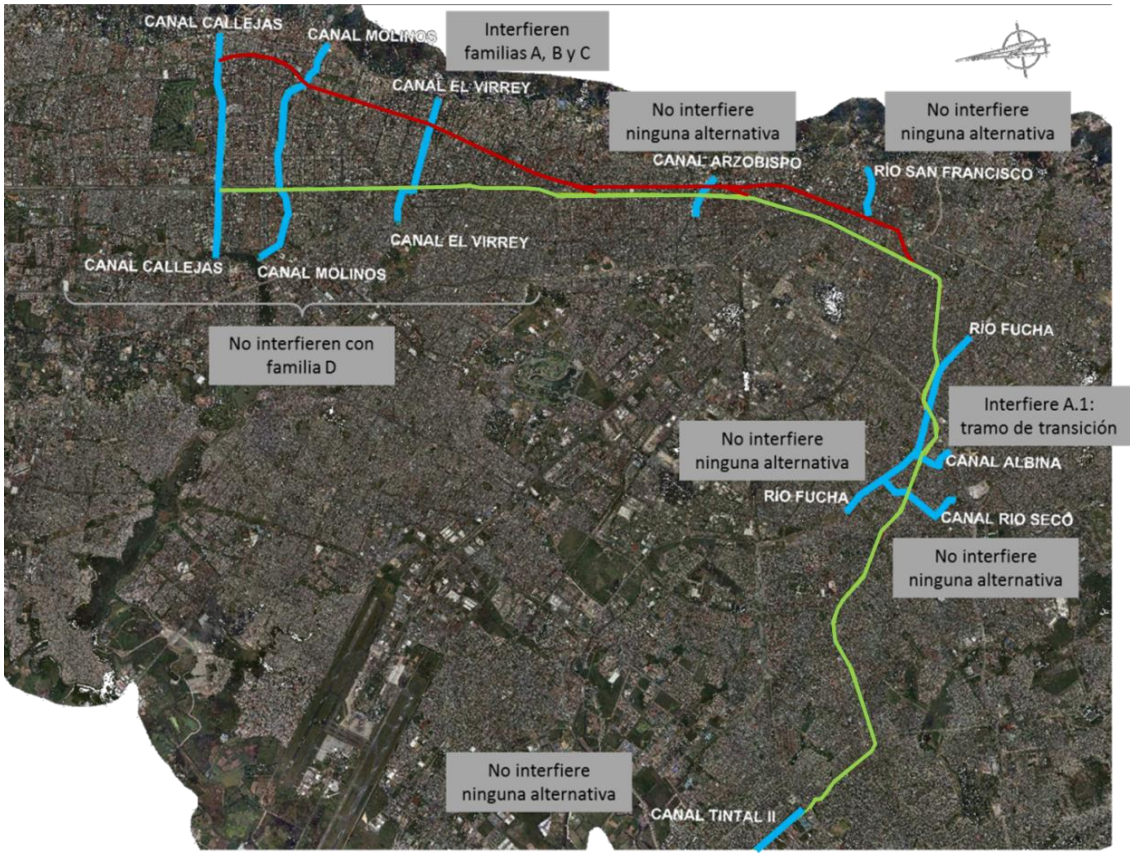


Figura 6.70 Interferencia con cuerpos de agua – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Una vez sobrepuesta esta información, se procedió a determinar para cada una de las alternativas, el recurso hídrico que fuera interceptado por el trazado.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos, en donde la alternativa A.1 es la que presenta el mayor número de interferencias con cuerpos de agua, así: canal Albina, canal Molinos, canal Virrey y canal Callejas por lo que resulta la alternativa con la menor calificación.

La interferencia con el canal Albina es ocasionada por la transición del sistema de elevado a subterráneo, mientras que la interferencia con los canales Molinos, Virrey y Callejas se presenta por la ejecución de la trinchera necesaria para la construcción del metro.

Las alternativas Base Modificada, A.1, B.1, B.2, C.1 y C.2 tienen interferencia con los canales Molinos, Virrey y Callejas por la ejecución de la trinchera necesaria para la construcción del Metro, mientras que las alternativas D.1 y D.2, por ser estructuras elevadas, no presentan ninguna interrupción con los cuerpos de agua por lo que resultan las mejores puntuadas. Esto último, considerando que los apoyos de la superestructura deben estar por fuera de la zona hidráulica de la fuente hídrica.

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (UN)	3	4	3	3	3	3	0	0
Calificación	**D**	**E**	**D**	**D**	**D**	**D**	**A**	**A**

Figura 6.71 Valores de resultados y calificación del indicador Interferencia con cuerpos de agua

Fuente: SYSTRA

- **<u>Criterio "Suelo", indicador generación de escombros durante la obra</u>**

Para estimar el volumen de escombros en cada una de las alternativas con tramos subterráneos, se tomó la información proyectada como parte del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) realizado por la firma IVICSA Ingenieros Consultores en el año 2015, descartando los volúmenes correspondientes a las estaciones no incluidas en la presente evaluación de alternativas (Ver Anexo 6.11.2.).

Para el cálculo del volumen de escombros producto de la demolición de los predios necesarios para la construcción del proyecto, se siguió el siguiente procedimiento:

a. Se tomó la información del área en m^2 de cada uno de los lotes requeridos para la construcción del sistema.
b. Se consideró que en un lote no debe sobrepasar el 80% de área construida.
c. Se realizaron unos supuestos de tipologías de construcciones en las cuales se asignaron medidas para espesor de paredes, pisos, cubiertas y altura promedio, así como, se asumieron unas divisiones internas. A continuación, se presenta un ejemplo:

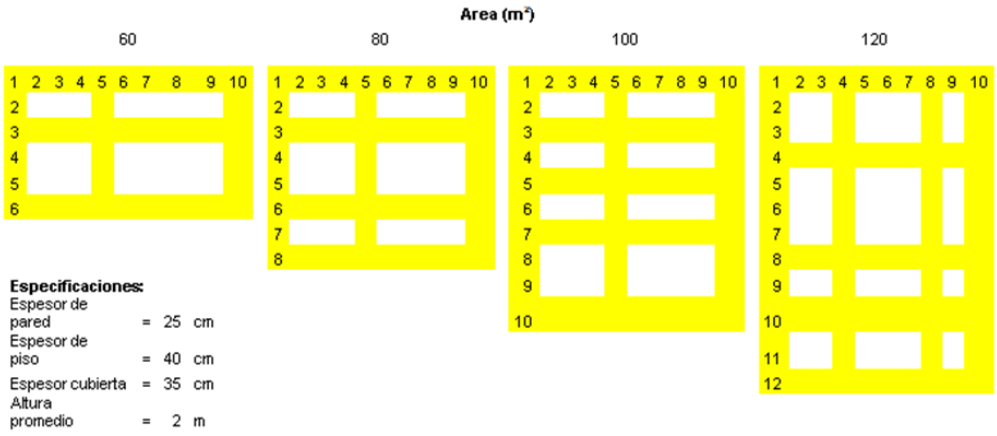


Figura 6.72 Ejemplo de tipologías de construcciones para la estimación de m3 de demoliciones – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

d. Posteriormente, se hizo una correlación entre el área construida y el volumen de escombros estimado para un piso, cuyo resultado se multiplicó por el número de pisos,

aumentándolo por un factor de expansión del 30%10. A continuación, se muestra la gráfica obtenida.

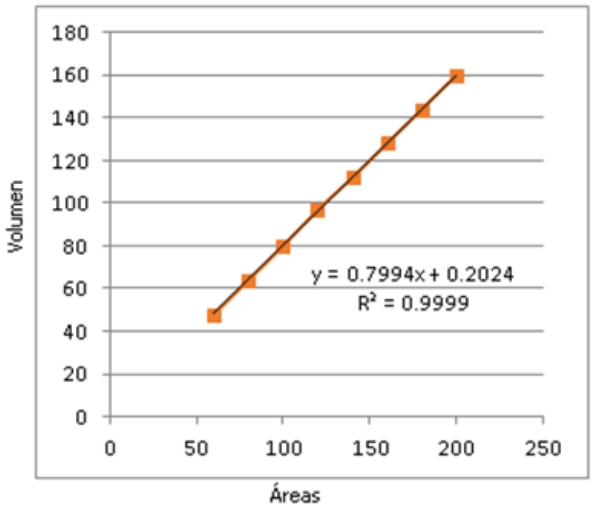


Figura 6.73 Correlación de áreas de construcción y volúmenes de escombros generados – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

En el Anexo 6.11.2, se adjuntan los resultados obtenidos para cada una de las alternativas analizadas.

En cuanto al volumen de escombros generado por las excavaciones para las cimentaciones, se consultó el Producto 32: Proyecto estructuras ramal técnico elaborado por CL1 mediante Contrato IDU-849 de 2013, en donde se definieron los diferentes tipos de cimentación para el viaducto elevado del ramal técnico de conexión entre el patio - taller y el Portal Américas.

Se realizó el cálculo del volumen de escombros generados en cada uno de los tipos de cimentaciones incluidas en este estudio, determinando que el tipo D7 (ver siguiente figura) es la que mayor volumen de material sobrante genera, razón por la cual, se empleó este resultado para determinar la cantidad de escombros en la alternativa elevada tanto en estaciones como en viaducto. Para estaciones, se consideraron cimentaciones cada 15 metros, mientras que en viaducto cada 25 metros.

[10] El factor de expansión se asigna por la variación volumétrica que sufren los materiales y que debe ser considerado para su disposición final y/o aprovechamiento.

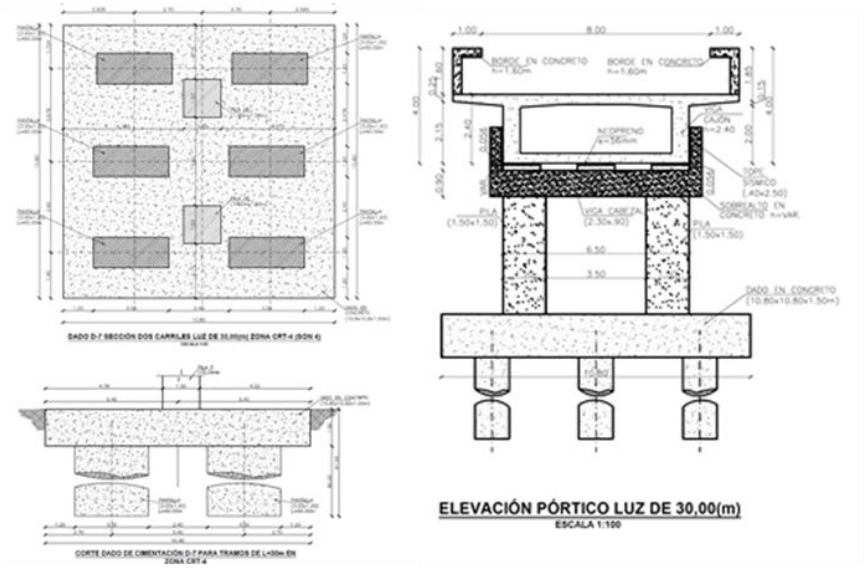


Figura 6.74 Cimentación Tipo D-7 – Fuente: Proyecto estructuras ramal técnico, Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1, 2013

El volumen total de escombros para las alternativas subterráneas corresponde a la sumatoria de los escombros proyectados en el EIA11 y los obtenidos por la demolición de predios, mientras que para las alternativas elevadas, corresponde a la sumatoria de los escombros obtenidos por la demolición de predios y el producto obtenido de las cimentaciones. En el Anexo 6.11.2, se presentan los resultados obtenidos para determinar la generación de escombros.

Figura 6.75 Metodología para el cálculo del volumen de escombros – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

De esta forma, se realizaron los cálculos de volumen de escombros generados para cada una de las alternativas, obteniendo para la base modificada la mayor cantidad de material sobrante y para la alternativa D.1 el menor volumen. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados obtenidos en cada una de las alternativas evaluadas.

[11] Contrato IDU-2226-2013. Estudio ambiental y social integral de la Primera Línea del Metro para la ciudad de Bogotá D.C.

Tabla 6.8 Valores de resultados y calificación del indicador Generación de escombros durante las obras

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (m^3)	7.405.370	6.445.054	5.029.326	5.032.874	4.500.259	4.503.829	2.519.391	2.522.961
Calificación	**E**	**E**	**C**	**C**	**C**	**C**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **<u>Criterio "Paisajismo", indicador afectación arbórea</u>**

Empleando la base de datos del Sistema de Información para la Gestión del Arbolado Urbano de Bogotá (SIGAU) del Jardín Botánico de Bogotá (JBB), se identificaron los individuos arbóreos que posiblemente interfieren con el proyecto, por lo que requerirían algún tipo de manejo durante la etapa de construcción, los cuales pueden ser: permanencia, bloqueo-traslado o tala. Así mismo, se incluyeron los árboles localizados dentro de una zona *buffer* definida previamente, que por cercanía al sistema pudieran verse afectados en su estructura.

En las estaciones de la alternativa subterránea y en aquellas zonas donde se fuera a construir por trinchera, se determinó un área *buffer* de 2 metros a partir del límite externo de la estación o de la trinchera. En los tramos elevados, en estación, se tomó desde el borde externo una zona buffer de 2 metros, mientras que en viaducto, 7,5 metros del eje central del mismo.

A continuación se presenta la forma empleada para cuantificar el número de individuos arbóreos que interfieren con el desarrollo de cada una de las alternativas evaluadas para la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Identificación árboles en estación

Identificación árboles en viaducto

Identificación árboles en trinchera

Tabla 6.9 Identificación de individuos arbóreos – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Una vez identificados los individuos, se totalizaron para determinar la cantidad de árboles en cada una de las alternativas evaluadas (ver Anexo 6.11.3).

En la siguiente tabla, se presentan los valores obtenidos, encontrando que la alternativa B.2 y C.2 cuentan con el escenario menos favorable con 2.498 y 2.501 individuos; respectivamente, lo anterior debido al cruce del trazado por el canal del río Fucha, mientras que la alternativa base modificada y D.1 con 1.877 y 1.896 individuos arbóreos, son las alternativas que resultaron mejores calificadas.

Tabla 6.10 Valores de resultados y calificación del indicador “Afectación arbórea”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (UN)	1.877	1.987	2.146	2.498	2.149	2.501	1.896	2.248
Calificación	**A**	**A**	**C**	**E**	**C**	**E**	**A**	**C**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **<u>Criterio “Ruido y vibraciones”, indicador generación de ruido por la operación del sistema</u>**

Para los tramos subterráneos, se tomó la información de los niveles de presión sonora proyectados mediante el software SoundPLAN® para la operación del metro subterráneo. Información consultada del producto: “modelo de dispersión de ruido” elaborado como parte del Estudio de Impacto Ambiental del año 2015 contratado por el IDU.

En dicho estudio se indica que: *“los niveles de presión sonora causados por el metro en operación no superan los 60 dB(A), en zonas habitables (con edificios), y tiene un máximo de 70 dB(A) en las inmediaciones de la operación”*. Por lo anterior, se tuvo como referencia el máximo nivel de ruido definido en el Estudio de Impacto Ambiental.

Para los tramos elevados se empleó como referencia el valor de ruido generado por el tren de un sistema metro, dado por la Administración de Seguridad Ocupacional y Salud (OSHA) de EUA, el

cual se define en 95dB[12], lo anterior, considerando que no se encontraron niveles de referencia medidos en campo en metros elevados en funcionamiento.

Para la estimación de los niveles totales de ruido en cada una de las alternativas, se tomaron los valores obtenidos de los estudios citados anteriormente, y se realizó el promedio aritmético. Lo anterior, con el objetivo de tomar este resultado como referencia de los niveles de presión sonora por alternativa evaluada. En el Anexo 6.11.4, se presentan los cálculos realizados.

En la siguiente tabla se presentan los niveles de ruido obtenidos en cada una de las alternativas analizadas, en donde se puede ver que las alternativas elevadas que corresponden a la D.1 y D.2 obtuvieron las calificaciones más negativas por presentar los más altos niveles de ruido. La alternativa subterránea, correspondiente a la base modificada presentó el mejor resultado con 70 dB.

Tabla 6.11 Valores de resultados y calificación del indicador "Generación de ruido por la operación del sistema"

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (dB)	70,0	78,0	85,9	85,9	88,2	88,2	95,0	95,0
Calificación	**A**	**B**	**D**	**D**	**D**	**D**	**E**	**E**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **Criterio "Ruido y vibraciones", indicador generación de vibraciones por la operación del sistema**

Para estimar las vibraciones generadas por el sistema durante la etapa de operación, se tomaron como referencia los niveles de riesgo definidos en el plan de auscultación elaborado como parte del Contrato IDU-849 de 2013. En dicho estudio, se establecieron tres niveles, de acuerdo con los umbrales de riesgo de movimientos admisibles establecidos en función de los movimientos y las edificaciones. Estos son:

- Verde: zonas sin edificación o zonas donde los edificios están alejados más de 30 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.
- Ámbar: edificios a una distancia entre 10 y 30 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.
- Rojo: edificios situados a una distancia menor de 10 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.

Con base en lo anterior se tomó el nivel de riesgo más alto, clasificado con el color rojo: "edificios situados a una distancia menor de 10 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla", para estimar las vibraciones en consideración a cada uno de los sistemas analizados como parte de la evaluación de alternativas.

Luego, se procedió a realizar la identificación de los predios con cimentaciones que estuvieran a 10 metros del eje del túnel, para el sistema subterráneo, mientras que para el sistema elevado, se identificaron los predios con fachadas que estuvieran a 10 metros del borde externo del viaducto (ver siguiente figura).

[12] Fuente: http://www.hear-it.org

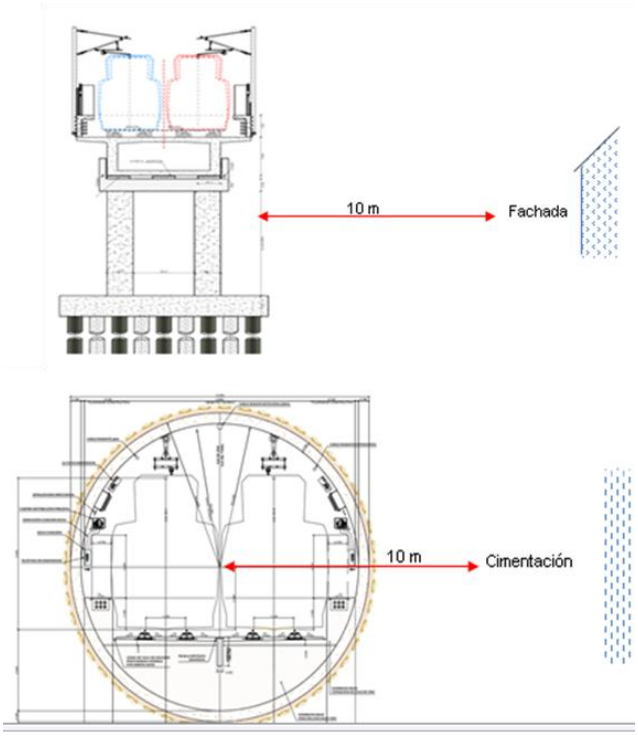


Tabla 6.12 Criterios de cercanía a edificaciones para la evaluación de vibraciones – Fuente: Imágenes tomadas del proyecto CL1, modificado por SYSTRA-SIGMA GP

De acuerdo con la experiencia de la consultoría en proyectos a nivel mundial relacionados con el presente contrato, se asignaron pesos a cada uno de los sistemas analizados considerando que en el funcionamiento del sistema subterráneo se generan mayores vibraciones con relación al elevado, debido al medio de propagación y área de contacto de la fuente generadora versus el medio receptor, por lo que se asignó mayor peso al primero (0,9) con respecto al segundo (0,1). En el Anexo 6.11.5, se presentan los cálculos realizados y resultados obtenidos en la valoración.

Considerados estos dos aspectos: predios y peso asignado por cada sistema evaluado, se obtuvo que la alternativa Base Modificada genera mayores vibraciones, lo que puede generar mayores perturbaciones sobre las comunidades aledañas al trazado, mientras que las alternativas C.1, D.1 y D.2 presentaron los menores valores estimados de vibraciones en la etapa de operación del sistema metro, por lo que resultaron las mejores calificadas.

Tabla 6.13 Valores de resultados y calificación del indicador “Generación de vibraciones por la operación del sistema”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (Número de predios con alto potencial de perturbación)	732	420	265	271	211	217	89	95
Calificación	**E**	**C**	**B**	**B**	**A**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

6.8.2 Componente "Proceso Constructivo"

- **Criterio "Rendimiento", indicador tiempo de construcción**

El criterio "rendimiento" que corresponde al tiempo promedio de construcción por alternativa se basa en tiempos de realización por tipo de infraestructura basados en las hipótesis siguientes:

- tiempos, métodos y sucesión de etapas son propuestos para minimizar el impacto sobre el tráfico vial y los edificios existentes,
- los tiempos toman en cuenta la planificación de las obras, la multiplicación de los puestos de obras, las obras en tiempo oculto,
- toma en cuenta de los ritmos promedios de ejecución de las obras.

Los plazos indicados en la tabla se basan en los ritmos de avance siguientes:

- Túnel: El túnel se realiza con tuneladora. El ritmo de avance es de unos 300ml/mes en pleno rendimiento. Las condiciones geológicas deberían a priori permitírselo a lo largo de todo el trazado.
  Se considera la hipótesis de una puesta en servicio de 1 a 2 tuneladoras en función de la longitud del túnel. En el plazo global se ha integrado el plazo del paso del túnel en las estaciones (aproximadamente de 1 mes).
- Viaducto: Se han tenido en cuenta las hipótesis siguientes:
  - Las dovelas del tablero del viaducto son prefabricadas en el sitio de prefabricación. Las dovelas son aportadas por camiones desde el sitio de prefabricación y se colocan a la ayuda de una viga lanzadora. El avance retenido para la realización del tablero es de 4.5 días.

    Se considera la hipótesis que se disponen de 3 a 5 vigas lanzadoras (una viga cada 3 - 5 km). El ritmo de avance retenido para la realización del tablero es de un tablero todos los 3 días.
  - Los apoyos (fundaciones, pilas y capiteles) se realizan in-situ; el número de equipos se determina para limitar la duración de las obras en el conjunto de la traza aérea con el fin de minimizar los impactos sobre los ribereños. El ritmo de avance retenido es de 3 apoyos/mes teniendo en cuenta una media de 6 a 7 equipos cada 6km.
- Túnel a cielo abierto: el ritmo de avance retenido es de 30m por mes. En función de la longitud de la zanja, se prevé de 2 a 5 frentes de obra.
- Estación aérea: El plazo considerado para la realización de una estación es de 12 meses. Siguiendo el método retenido, las obras de cada estación empezaran después del paso de la viga lanzadora (después de la realización del viaducto en la estación). Se considera que 6 estaciones estarán en obras simultáneamente.
- Estaciones subterráneas: plazo total retenido para la estación es de 18 meses. Se consideran 7 estaciones en obras simultáneamente.

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
Menos de 40 meses	Entre 41 y 45 meses	Entre 46 y 50 meses	Entre 51 y 55 meses	Más de 55 meses

El tramo u opción de trazado que presente la estructura con un potencial de construcción más rápido y el contexto urbano más favorable obtiene la mejor puntuación

Combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.14 Valores de resultados y calificación del indicador "Tiempo de construcción en meses"

	ABM	A.1	B.1.1	B.1.2	C.1.1	C.1.2	D.1.1	D.1.2
Tiempo total (meses)	66	66	56	52	49	42	40	40
	E	E	E	D	C	B	A	A

Fuente: SYSTRA

Las alternativas de la familia D con una infraestructura en viaducto presentan el mayor rendimiento por su tiempo de construcción entorno a los 40 meses.

- **Criterio "Daño emergente y lucro cesante", indicador perturbación a vecinos comerciales**

Para cada una de las alternativas de trazado y con el apoyo del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) se realizó la cuantificación de los predios con usos comerciales ubicados en la primera manzana adyacente a cada trazado. La identificación se realizó a partir del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)[13] para los predios en zonas de comercio aglomerado y zonas de comercio cualificado, así como los predios con usos mixtos: residencial con actividad económica y residencial con comercio y servicio. Las siguientes tabla y figura resumen dicha cuantificación.

Tabla 6.15 Predios identificados con usos comerciales y mixtos acorte al POT Decreto Distrital 190 de 2004 por alternativa"

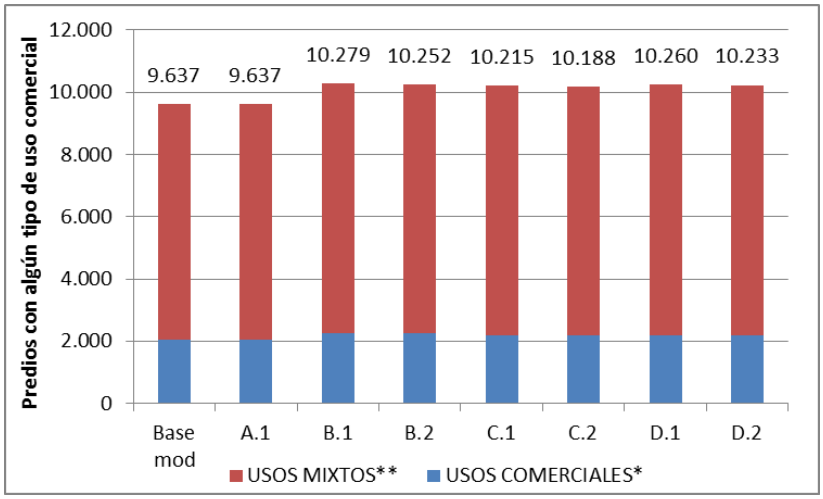
ALTERNATIVA	PREDIOS CON USOS COMERCIALES*	PREDIOS CON USOS MIXTOS**	TOTAL
Base modificada	2.031	7.606	**9.637**
A.1	2.031	7.606	**9.637**
B.1	2.237	8.042	**10.279**
B.2	2.237	8.015	**10.252**
C.1	2.173	8.042	**10.215**
C.2	2.173	8.015	**10.188**
D.1	2.202	8.058	**10.260**
D.2	2.202	8.031	**10.233**

* Zona de Comercio Aglomerado y Zona de Comercio Cualificado
** Zona Residencial con Actividad Económica y Zona Residencial con Comercio y Servicios

Fuente: Cuantificación del Instituto de Desarrollo Urbano IDU, 2016 a partir del POT (decreto Distrital 190 de 2004)

[13] Decreto Distrital 190 de 2004

Figura 6.76 Predios identificados con usos comerciales y mixtos acorde al POT decreto Distrital 190 de 2004 por alternativa



Fuente: SYSTRA-SIGMA a partir de la cuantificación del IDU, 2016

Si se comparan los resultados entre alternativas, se observa que no existe mucha variación en la cantidad de predios comerciales que pueden verse afectados por las obras de construcción del metro, siendo la alternativa B.1 la que presenta mayor afectación con 10.279 predios que tienen algún uso comercial, mientras que las alternativas de la familia A (base modificada y A.1) son las que presentan menor afectación con 642 predios menos que la alternativa B.1. En todas las alternativas los predios ubicados en zonas residenciales con actividad económica y/o zonas residenciales con comercio y servicio son los que se verán más afectados, siendo en promedio el 79% del total de predios afectados.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el lucro que dejan de percibir los propietarios de los predios comerciales ocurre sólo durante el proceso de construcción de la línea de metro, resulta conveniente afectar el indicador por el rendimiento de cada alternativa. A partir del tiempo de construcción estimado en el indicador anterior y considerando la longitud total de cada alternativa, en la siguiente tabla se estima el rendimiento de construcción en metros lineales por mes.

Tabla 6.16 Rendimiento de construcción por alternativa

ALTERNATIVA	TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN (meses)	LONGITUD (m)	RENDIMIENTO (m/mes)
Base modificada	66	27.063	410
A.1	66	27.113	411
B.1	56	26.852	480
B.2	52	26.674	513
C.1	49	26.846	548
C.2	42	26.668	635
D.1	40	25.829	646
D.2	40	25.651	641

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Con lo anterior, en la siguiente tabla se realiza la valoración del indicador como el número de predios comerciales de la primera manzana adyacente al trazado dividido entre el rendimiento. Asimismo, en la tabla se presenta la calificación en los cinco niveles según la metodología descrita en el numeral 4.4:

Tabla 6.17 Valores de resultados y calificación del indicador "Perturbación a vecinos comerciales"

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (UN/Rendimiento)	23,5	23,5	21,4	20,0	18,6	16,0	15,9	16,0
Calificación	**E**	**E**	**D**	**C**	**B**	**A**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

El resultado muestra, que si bien la cantidad de predios afectados en la familia A es la menor, debido a los tiempos de construcción y rendimiento de la obra, el daño emergente y lucro cesante resulta ser la de mayor afectación, con una valoración de 23,5 UN/rendimiento respecto a 15,9 de la alternativa D.1 que es la de mejor resultado.

- **Criterio "Perturbaciones al Tráfico", indicador perturbaciones al tráfico vehicular**

El criterio "perturbaciones al tráfico vehicular" durante el período de construcción de la línea de metro se evalúa según el tipo de infraestructura considerada.

- **Infraestructura tipo viaducto – Nota: 3/5**

  El viaducto presenta un impacto más importante que el túnel en el impacto al tráfico vehicular: de hecho, las obras de las fundaciones de los apoyos cada 30 metros, el transporte de los elementos prefabricados tienen un impacto notable sobre el tráfico vehicular, sometido a desviaciones e interrupciones.

- **Infraestructura tipo túnel – Nota: 4/5**

  Para el túnel, el impacto es menor. Sin embargo, la infraestructura (estaciones, pozos de ataque) consume provisoriamente más espacio, lo que impacta el tráfico y los edificios.

- **Infraestructura tipo túnel entre pantallas – Nota: 2/5**

  Las trincheras cubiertas constituyen el tipo de proceso constructivo con mayor impacto sobre el tráfico vehicular durante las obras.

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
]5 – 4]	]4 – 3,6]	]3,5 – 3,3]	]3,3 – 3,1]	< = 3

Combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.18 Valores de resultados y calificación del indicador “Perturbaciones al tráfico vehicular”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	3,7	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	4,0	4,0
Calificación	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA

Las alternativas en viaducto presentan los mejores resultados, afectando menormente el tráfico viario durante las obras.

- **Criterio “Perturbaciones al Tráfico”, indicador perturbaciones en la operación del BRT**

El criterio “perturbaciones al tráfico BRT” consiste en definir las alternativas con impacto mínimo sobre el tráfico de las troncales del Transmilenio. Por ello, una evaluación del kilometraje de troncales del Transmilenio afectado por la construcción de la futura línea de metro es realizada, identificando los tramos de troncales afectados puntualmente y linealmente por las obras de las alternativas.

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
Menos de 4 km	Entre 4 y 7 km	Entre 7 y 10 km	Entre 10 y 13 km	Más de 13 km

La suma del lineal de troncales afectadas durante su operación permite obtener los resultados siguientes:

Tabla 6.19 Valores de resultados y calificación del indicador “Perturbaciones en la operación del BRT”

	ABM	A.1	B.1.1	B.1.2	C.1.1	C.1.2	D.1.1	D.1.2
Km vías Transmilenio impactadas	3,4	3,4	4,25	3,77	7,03	6,55	14,6	14,12
	A	A	B	A	C	B	E	E

Fuente: SYSTRA

Las alternativas con un lineal mayoritariamente ubicado en superficie impactan de manera más importante el trafico BRT en comparación con alternativas esencialmente subterráneas.

Se pueden consultar en Anexo 6.11.6 los mapas de ilustración de los impactos – puntuales y lineales - de las obras de cada alternativa sobre las líneas troncales del Transmilenio.

- **Criterio “Ruido y Vibraciones”, indicador generación de ruido por la construcción del sistema**

Para los tramos subterráneos, se tomó la información de los niveles de presión sonora proyectados en el “modelo de dispersión de ruido” elaborado como parte del Estudio de Impacto Ambiental del año 2015. En dicho estudio, mediante el software SoundPLAN® se modelaron los niveles de

presión sonora durante la etapa de construcción del metro subterráneo tanto para el periodo diurno como para el periodo nocturno.

Para las alternativas elevadas se revisaron a nivel local, proyectos realizados en Bogotá que pudieran asimilarse a la construcción de estructuras elevadas. Por lo anterior, se consultó el estudio de ruido ambiental realizado por la firma ICEIN S.A.S. en junio de 2014, realizado para determinar los niveles de presión sonora generados por las actividades constructivas de la glorieta de tercer nivel para la interconexión de la troncal de la Calle 6 y NQS[14], tanto en jornada diurna como en jornada nocturna.

Para la estimación de los niveles totales de ruido en cada una de las alternativas, se tomaron los mayores valores obtenidos de los estudios citados anteriormente, tanto para la jornada diurna como para la nocturna. Posteriormente, se realizó el promedio aritmético y se seleccionó el mayor valor obtenido de cada una de las jornadas, el cual fue el que se tomó como referencia del nivel de ruido en la alternativa evaluada. En la tabla que se presenta a continuación, se muestra a manera de ejemplo lo explicado anteriormente y en el Anexo 6.11.4, se presentan los cálculos realizados.

Tabla 6.20 Ejemplo para la estimación del ruido durante la construcción

Niveles de presión sonora (dB)	ESTACIONES			PROMEDIO	MÁXIMO
	A	B	C		
Jornada diurna	96,37	95,58	97,15	96,37	**96,37**
Jornada nocturna	95,58	94,64	95,99	95,40	

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Los niveles de ruido obtenidos en cada una de las alternativas analizadas, se presentan en la siguiente tabla, encontrando que la alternativa base modificada, fue la que obtuvo la valoración más desfavorable con 96,7 dB, mientras que la D.1 y D.2, dieron la mejor calificación.

Tabla 6.21 Valores de resultados y calificación del indicador “Generación de ruido por la construcción del sistema”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (dB)	96,7	90,7	84,8	84,8	83,0	83,0	77,4	77,4
Calificación	**E**	**D**	**C**	**C**	**B**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **<u>Criterio “Ruido y Vibraciones”, indicador generación de vibraciones por la construcción del sistema</u>**

Para estimar las vibraciones generadas por el sistema durante la etapa de construcción, se tomaron como referencia los niveles de riesgo definidos en el plan de auscultación elaborado como parte del Contrato IDU-849 de 2013. En dicho estudio, se establecieron tres niveles, de acuerdo

[14] Contrato IDU-044 de 2010. Actualización de estudios y diseños y la adecuación de la Calle 6ª al sistema Transmilenio en el tramo comprendido entre las troncales Caracas y NQS, incluida la Intersección Calle 6ª – NQS en Bogotá D.C.

con los umbrales de riesgo de movimientos admisibles establecidos en función de los movimientos y las edificaciones. Estos son:

- Verde: zonas sin edificación o zonas donde los edificios están alejados más de 30 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.
- Ámbar: edificios a una distancia entre 10 y 30 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.
- Rojo: edificios situados a una distancia menor de 10 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla.

Con base en lo anterior se tomó el nivel de riesgo más alto, clasificado con el color rojo: "edificios situados a una distancia menor de 10 metros del eje del túnel o del trasdós de la pantalla", para estimar las vibraciones en consideración a cada uno de los sistemas analizados como parte de la evaluación de alternativas. Se procedió a realizar la identificación de los predios con cimentaciones que estuvieran a 10 metros del eje del túnel, para el sistema subterráneo, mientras que para el sistema elevado, se identificaron los predios con fachadas que estuvieran a 10 metros del borde externo del viaducto.

De acuerdo con la experiencia de la consultoría en proyectos a nivel mundial relacionados con el presente contrato, se asignaron pesos a cada uno de los sistemas analizados considerando que en los metros subterráneos: la construcción del túnel, pantallas, bocas de acceso a estaciones y estaciones; se generan mayores vibraciones con relación a la construcción de los metros elevados: cimentaciones, montaje de superestructura y estaciones, para lo cual, se asignó mayor peso al sistema subterráneo (0,7) con respecto al elevado (0,3). En el Anexo 6.11.5 se presentan los cálculos realizados para cada uno de los escenarios.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados de la evaluación realizada, encontrando que la alternativa base modificada obtuvo la calificación más alta y para las alternativas D.1 y D.2 la más baja.

Tabla 6.22 Valores de resultados y calificación del indicador "Generación de vibraciones por la construcción del sistema"

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (Número de predios con potencial alto de perturbación)	569	444	389	408	357	375	266	285
Calificación	**E**	**C**	**C**	**C**	**B**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **<u>Criterio "Redes de Servicios Públicos", indicador interferencias con redes principales</u>**

La metodología empleada para la cuantificación de las redes de servicios públicos posiblemente afectadas corresponde al cruce de dos aspectos: por un lado, definir qué redes se consideran "principales" para cada tipo de red; y, por otro lado, establecer cómo se produce la interferencia de estas redes para cada tipología (túnel TBM, túnel entre pantallas o viaducto) de metro.

En primer lugar, en lo que respecta a la definición de las redes a considerar, se han tenido en cuenta 4 tipos de servicios públicos: red de acueducto, red de alcantarillado (tanto pluvial como sanitario), red eléctrica de alta tensión y red de gas natural. Estas redes, a su vez, se subdividen en redes principales y secundarias, en función del diámetro, el tipo de infraestructura o la tensión

de carga. Con el objetivo de homogeneizar el cálculo para todas las alternativas, se estableció un criterio general mediante el cual se definen las redes principales que serán consideradas en el cálculo del presente criterio

- Red de acueducto: redes matrices con diámetros mayores a 12".
- Red de alcantarillado: redes colectoras con diámetros mayores a 1 m y todas las redes interceptoras.
- Red eléctrica: red de alta tensión con cargas superiores a 57,5 kV.
- Red de gas natural: redes con diámetros mayores a 4".

Cabe mencionar que todas las redes consideradas son las redes existentes en la actualidad, dejando fuera del cálculo las redes proyectadas.

En el estudio realizado por el Consorcio L1 existe un estudio de afectación de redes de servicios públicos que incluía una cuantificación de redes interferidas. Sin embargo, las alternativas de trazado correspondientes a este estudio se analizaron con el mismo criterio que el resto, y no tomando los valores del estudio del Consorcio, con el objetivo de homogeneizar el cálculo de todas las alternativas.

En segundo lugar, con relación al tipo de solución para el trazado (túnel TBM, túnel entre pantallas o viaducto) se debe entender que la afectación a las redes de servicios públicos no es igual para cada tipología. Para ello, se definieron una serie de criterios para analizar qué redes se afectan con relación al trazado y a la tipología seleccionada, basados en los siguientes aspectos:

1. La sección y profundidad del túnel o de la cimentación del viaducto, así como el método constructivo.
2. Las normas de las Empresas de Servicios Públicos, en las que se definen las distancias mínimas que se deben respetar desde el borde de la infraestructura hasta el eje de la red principal afectada.
3. La sección transversal de la vía por la que discurre el túnel, ya que las redes principales de servicios deben reubicarse dentro del ancho de la calzada del corredor.
4. Se consideran las redes paralelas al trazado. Las redes transversales no se consideran para la solución de viaducto, salvo aquellas que no pueden ser salvadas por la distancia entre pilas (20 m de borde de pila a borde de pila).

Con base en estos aspectos, se estableció la metodología de cálculo para calcular las longitudes de redes posiblemente afectadas:

- Túnel mediante TBM: debido a que el túnel discurre a una profundidad muy superior a la profundidad de las redes, se asume que las redes principales no se ven afectadas por la ejecución del túnel. Por tanto, solo se tienen en cuenta las redes que se encuentran dentro de la proyección en planta de las estaciones, pues estas son ejecutadas mediante excavación desde la superficie. En la siguiente figura se puede ver que la longitud afectada solo corresponde a lo que se encuentra dentro de la zona sombreada en rojo.

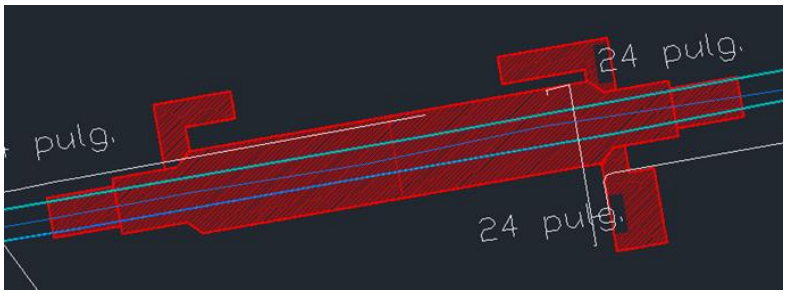


Figura 6.77 Redes afectadas por construcción de túnel con TBM - Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Túnel entre pantallas: para este caso, puesto que la ejecución del túnel comprende la excavación completa desde la superficie, se entiende que las redes que se encuentren dentro de esta excavación, que según los estudios realizados por el Consorcio L1 es de 12,40 m (distancia de borde de pantalla a borde de pantalla), se verán afectadas. Teniendo en cuenta las normas de las Empresas de Servicios[15] y el ancho de las calzadas, se estimó una distancia de seguridad promedio de unos 7 m desde el borde de la pantalla hasta el eje de la red afectada, lo que lleva a una distancia de 13 metros desde el eje del túnel (26 metros en total) dentro de la cual todas las redes se consideran como afectadas. En la siguiente figura se puede observar cómo se estimó la longitud de redes para esta tipología de infraestructura.

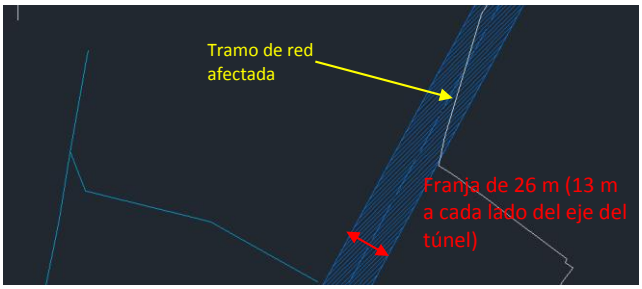


Figura 6.78 Redes afectadas por construcción de túnel con trinchera con pantallas – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- Viaducto: en el caso del viaducto, las redes se ven afectadas por la cimentación del mismo. En el tramo sur se estima que los dados o zapatas de cimentación tendrán unos 8 m de ancho, mientras que en el tramo norte este ancho puede subir a 10 m. Definiendo una distancia de seguridad de 5 m (menor a la del túnel entre pantallas, pues la excavación puntual y no permanente), se establece una zona de posible afectación de redes de 9 m para el viaducto sur y 10 m para el viaducto norte respecto del eje del viaducto. La siguiente figura muestra la franja sobre la que se consideran las redes afectadas.

[15] Norma Técnica de Servicio NS-139 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. “Requisitos para la determinación del ancho mínimo del derecho de vía en redes de acueducto y alcantarillado”.

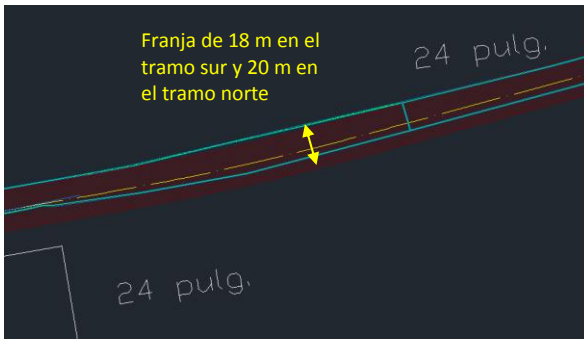


Figura 6.79 Redes afectadas por construcción de viaducto – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Una vez establecidos todos los criterios anteriormente explicados, se procedió al cálculo de las longitudes de redes afectadas por la ejecución de la PLMB, obteniendo los resultados reflejados en la siguiente tabla.

Debido a que se debe obtener un único valor para cada alternativa, se otorgó un peso de 70% a la longitud de redes húmedas y un 30% a la longitud de redes secas, debido al peso que normalmente en este tipo de proyectos tiene la interferencia de estas tipologías de servicios públicos. De esta forma se obtuvo un único valor homogéneo para todas las redes afectadas por cada alternativa.

Tabla 6.23 Longitud total de las redes de servicio públicos afectados

ALTERNATIVA	REDES HÚMEDAS (m)	REDES SECAS (m)	VALOR TOTAL PONDERADO (m)
Base modificada	4.579	2.131	3.845
A.1	10.481	2.264	8.016
B.1	10.738	2.053	8.133
B.2	11.297	2.053	8.524
C.1	10.456	2.053	7.935
C.2	11.286	2.053	8.516
D.1	12.627	495	8.987
D.2	13.457	495	9.568

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Al distribuir estos valores de forma que el mínimo obtiene el valor “A” y el máximo el valor “E”, se obtienen las puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.24 Valores de resultados y calificación del indicador “Interferencias con redes principales

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (m)	3.845	8.016	8.133	8.524	7.935	8.516	8.987	9.568
Calificación	**A**	**D**	**D**	**E**	**D**	**E**	**E**	**E**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

6.8.3 Componente "Urbano-Paisajístico"

- **Criterio "Renovación Urbana", indicador potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios**

Un sistema de transporte masivo como el metro, implica la transformación de las diferentes dinámicas urbanas a lo largo el eje propuesto. En este, son solo las estaciones y no el trazado, quienes permiten la congregación e interacción de los usuarios del sistema con el entorno urbano inmediato y viceversa.

A partir de esto, se estableció que el potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios debía ser visto como el área urbana de manzanas adyacentes a estaciones que, por funcionamiento de estas, se ve afectada y genera una posibilidad de una explotación del suelo que beneficie tanto al sistema de metro como a las dinámicas urbanas.

Para el cálculo de este punto se establecieron los siguientes criterios:

- **Estaciones elevadas**: Las tipologías recomendadas proponen la posibilidad de generar edificios laterales donde se proponen los diferentes accesos a las estaciones, lo cual genera la posibilidad de potencializar las manzanas adyacentes a las estaciones, donde se encuentren estos accesos.

  Para estas estaciones, se calcula el área del total de las manzanas donde se encuentren los posibles accesos laterales a estaciones. Adicionalmente, las tipologías recomendadas proponen la posibilidad de aumentar este potencial de desarrollo en altura. Por esta razón, esta área inicial se multiplica, por el número de pisos que requiera dicha estación, por 3 para las estaciones del tramo sur, no integradas con Transmilenio, y por 2 para las estaciones integradas al Sistema Transmilenio.

  Los accesos que están ubicados directamente desde el espacio público por medio de escaleras y puentes, no implican un área de potencial. Las tipologías adoptadas para el análisis del impacto de las estaciones se presentan en la siguiente figura:

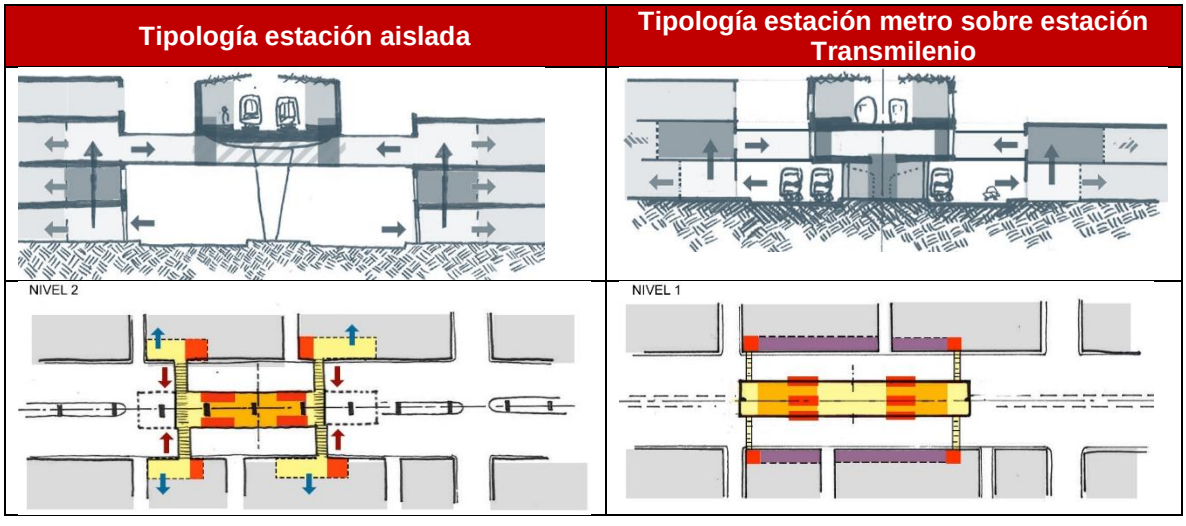


Figura 6.80 Tipologías de estaciones consideradas en las estimaciones de impactos – Fuente: SYSTRA

- **Estaciones subterráneas**: A diferencia de las estaciones elevadas, estas generan un potencial menor, dado que las salidas de las estaciones afectan directamente solo el nivel en el que desembocan. Por lo anterior, para estas, se calcula el área del total de las manzanas donde se encuentren los posibles accesos a la estación, sin tener en cuenta accesos que se encuentren directamente en el espacio público. Para este ejercicio se utiliza el diseño de estaciones de la Ingeniería Básica de CL1.

En la siguiente figura se resumen los resultados del área en m^2 para este criterio y en el Anexo 6.11.7 se presenta la cartografía de análisis tanto de las estaciones elevadas como subterráneas:

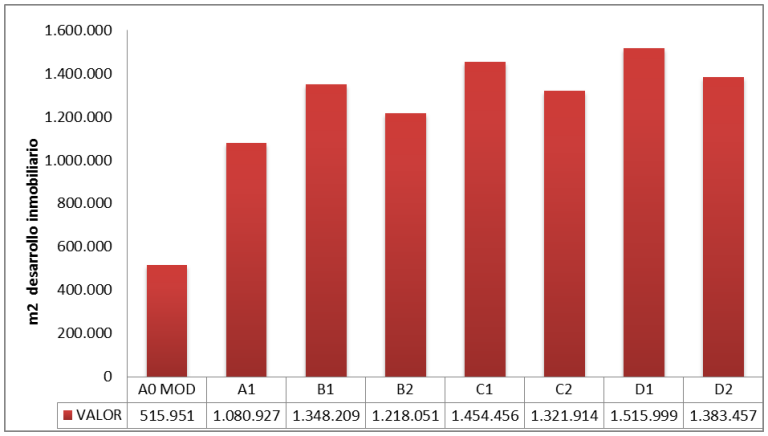


Figura 6.81 Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios – Fuente: SYSTRA-SIGMA

Con lo anterior, se observa que la alternativa con mayor potencial es la D.1 con 1.515.999 m^2 y la que genera menor potencial es la alternativa base modificada con 515.951 m^2, siendo la diferencia de 1.000.048 m^2. El resultado es consistente, teniendo en cuenta la primicia que una estación elevada genera un potencial de desarrollo inmobiliario mayor, respecto a una estación subterránea. Por lo cual, las alternativas cuyas estaciones están completamente elevadas, son quienes obtienen un mejor resultado en este criterio.

La diferencia en cuanto al resultado en las familias entre las variaciones 1 y 2, se debe a la estación NQS, la cual es la única que se ve afectada en las dos opciones. En la variación 1, esta se encuentra ubicada sobre la avenida NQS, la cual tiene sus accesos en manzanas con un potencial mayor, mientras que en la variación 2, la estación se encuentra ubicada sobre el eje del rio Fucha entre la avenida NQS y avenida 30, lugar con un potencial de desarrollo menor.

Al distribuir estos valores de forma que el valor mayor obtiene la calificación “A” y el menor la calificación “E”, se obtienen las siguientes puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.25 Valores de resultados y calificación del indicador “Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (m^2)	515.951	1.080.927	1.348.209	1.218.051	1.454.456	1.321.914	1.515.999	1.383.457
Calificación	E	C	A	B	A	A	A	A

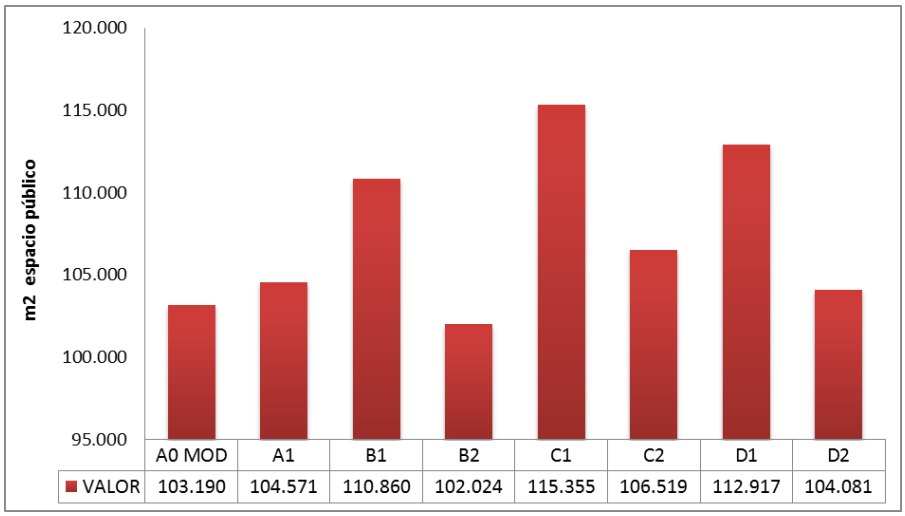
Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **Criterio "Renovación Urbana", indicador potencial de generación de espacio público**

La inserción de una nueva infraestructura de movilidad para la ciudad supone también la afectación y futura transformación del sistema de espació público, bajo las políticas urbanas de la ciudad. Sin embargo, en este punto el Grupo Consultor sugiere un mínimo de generación de espacio público, el cual tenga la capacidad de potenciar las dinámicas de la ciudad en relación con el sistema metro.

De la misma manera que el indicador "potencial de generación de desarrollo inmobiliario", este indicador debe ser cuantificado sobre el impacto directo de las estaciones, las cuales son las que tienen la capacidad de congregar a la población en torno al uso del sistema y/o sus actividades colindantes. Basándonos bajo la cuantificación mínima de potencial, se establece que este debería estar en concordancia con las estaciones laterales y su respectivo potencial inmobiliario. De esta manera se estima un veinte por ciento (20%) sobre el área total de la manzana afectada para el funcionamiento del sistema como el posible potencial de espacio público, es decir, el veinte por ciento sobre el "potencial de desarrollo inmobiliario" inicial de un solo piso.

En la siguiente figura se ven los resultados del área en m^2 para este criterio:



	A0 MOD	A1	B1	B2	C1	C2	D1	D2
VALOR	103.190	104.571	110.860	102.024	115.355	106.519	112.917	104.081

Figura 6.82 Potencial de generación de espacio púbico – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

La alternativa con mayor potencial es la C.1 con un resultado 115.335 m^2 y la que genera menor potencial es la B.2 con un resultado de 102.024 m^2. El resultado refleja que tanto la línea base subterránea (A0 modificada) como la totalmente elevada (D) cuentan con potenciales similares de generación de espacio público. La diferencia entre la alternativa con mayor y la de menor potencial es de 13.331 m^2.

Dado que para este ejercicio se utilizaron las estaciones diseñadas en el estudio de CL1 y las nuevas tipologías que SYSTRA propone para la alternativa elevada, los cambios en cuanto al resultado de este criterio se deben a la disimilitud de inserción y el diseño entre estas dos opciones.

La diferencia en cuanto al resultado en las familias entre las variaciones 1 y 2, se debe a la estación NQS, la cual es la única que se ve afectada en las dos opciones. En la variación 1, esta se encuentra ubicada sobre la avenida NQS, la cual tiene sus accesos en manzanas con un potencial mayor, mientras que en la variación 2, la estación se encuentra ubicada sobre el eje del rio Fucha entre la avenida NQS y avenida 30, lugar con un potencial de desarrollo menor.

Al distribuir estos valores de forma que el valor mayor obtiene la calificación “A” y el menor la calificación “E”, se obtienen las siguientes puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.26 Valores de resultados y calificación del indicador “Potencial de generación de espacio público”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (m^2)	103.190	104.571	110.860	102.024	115.355	106.519	112.917	104.081
Calificación	E	E	B	E	A	D	A	E

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **Criterio “Renovación Urbana”, indicador potencial de recuperación de zonas deprimidas**

Las estaciones en un sistema de metro tienen la capacidad de convertirse en nodos para la ciudad. Atraen un número de usuarios significativo, que contribuye a un mejor aprovechamiento del suelo con el objetivo de fomentar el desarrollo de la ciudad. Este potencial que genera exclusivamente las estaciones, tiene la capacidad de recuperar zonas de la ciudad, que ya sea por motivos sociales, económicos o físicos, estén deprimidas y requieran una intervención para mejorar su calidad.

Para la cuantificación de este indicador se establecieron como zonas deprimidas, las áreas de renovación estipuladas en el Plan de Ordenamiento Territorial - POT (decreto 190 de 2004) y el área de influencia de la estación como la primera manzana colindante a esta, tanto en el caso de estaciones elevadas como subterráneas. Para efectos de equilibrio entre la alternativa Base subterránea modificada (AB modificada) y las familias con tipología elevada, se tomaron las estaciones subterráneas con la misma área en planta de las elevadas, ya que las originales de estudio CL1 generan un desequilibrio en la cuantificación de este criterio debido a su gran tamaño e influencia sobre las áreas de renovación.

En la siguiente figura se ven los resultados del área en m^2 para este criterio y en el anexo 6.11.8, se presenta la cartografía de análisis de las estaciones elevadas y subterráneas, respectivamente:

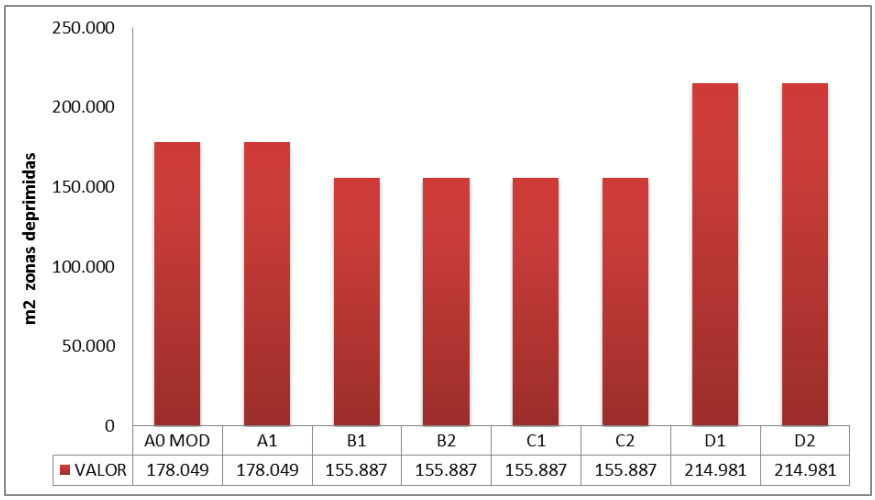


Figura 6.83 Potencial de recuperación de zonas deprimidas – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Los resultados muestran que las alternativas con mayor potencial corresponden a la familia D con 214.981 m^2, y las que generan menor potencial son las alternativas de las familias C y D con un resultado de 155.887 m^2. La diferencia de área entre la alternativa con mayor y la de menor potencial es de 59.094 m^2.

Al distribuir estos valores de forma que el valor mayor obtiene la calificación “A” y el menor la calificación “E”, se obtienen las siguientes puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.27 Valores de resultados y calificación del indicador “Potencial de recuperación de zonas deprimidas”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (m^2)	178.049	178.049	155.887	155.887	155.887	155.887	214.981	214.981
Calificación	D	D	E	E	E	E	A	A

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

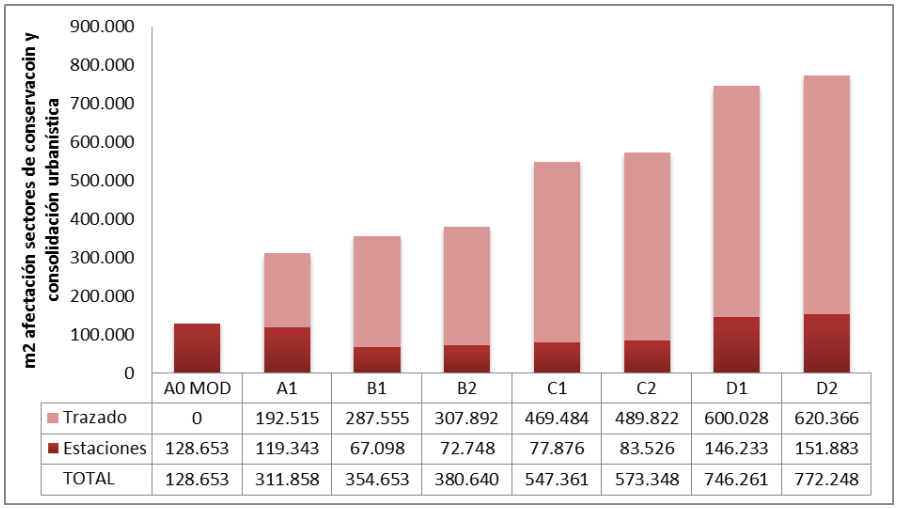
- **<u>Criterio “Impacto Urbano”, indicador afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico</u>**

La inserción del proyecto metro, trae consigo beneficios y perjuicios para el contexto urbano donde se emplaza. Unos de estos perjuicios, se ve reflejado en barrios y construcciones con un interés arquitectónico y/o urbanístico, los cuales para términos de este ejercicio son los categorizados en el Plan de Ordenamiento Territorial - POT (decreto 190 de 2004) como *“sectores de conservación”* y *“sectores de consolidación urbanística”.*

A diferencia de los criterios de potencial, donde solo se tomaba el área de influencia de la estación como posible potencial, en este indicador si es necesario cuantificar tanto el área de influencia de la estación como la del trazado, ya que la construcción y posterior funcionamiento de un viaducto influye en la calidad de estos barrios.

Para el ejercicio de cuantificación se tomó el área total de las primeras manzanas adyacentes al viaducto o estación que se encuentren constituidas como *“sectores de conservación”* o *“sectores de consolidación urbanística”.*

En la siguiente figura se ven los resultados del área en m^2 para este criterio y en el Anexo 6.11.9 se presenta la cartografía de análisis:



	A0 MOD	A1	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Trazado	0	192.515	287.555	307.892	469.484	489.822	600.028	620.366
Estaciones	128.653	119.343	67.098	72.748	77.876	83.526	146.233	151.883
TOTAL	128.653	311.858	354.653	380.640	547.361	573.348	746.261	772.248

Figura 6.84 Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Según lo anterior, la alternativa con mayor afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico es la D.2 con un resultado 772.248 m^2 y la que genera menor afectación es la alternativa base modificada con un resultado de 128.653 m^2, la cual no tiene afectaciones por trazado.

Se observa que las alternativas de la familia D son las que tienen una mayor afectación. Este resultado se debe a que las mayores aéreas de conservación se encuentran sobre la Carrera Décima en el centro de la ciudad y la Avenida Caracas. Las alternativas B y C, quienes varían entre el trazado de la familia A y D, contribuyen a una afectación menor. En este sentido las alternativas con menor afectación son las que tienen menos longitud en los sectores de influencia de la Avenida Caracas y la Carrera Décima.

La diferencia constante de 25.988 m^2 que resulta entre las variaciones 1 y 2 es causada por el desvío del trazado por el canal del rio Fucha, el cual genera una afectación en el barrio La Fragua.

Al distribuir estos valores de forma que el menor valor obtiene la calificación “A” y el mayor la calificación “E”, se obtienen las siguientes puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.28 Valores de resultados y calificación del indicador “Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (m^2)	128.653	311.858	354.653	380.640	547.361	573.348	746.261	772.248
Calificación	A	B	B	B	D	D	E	E

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

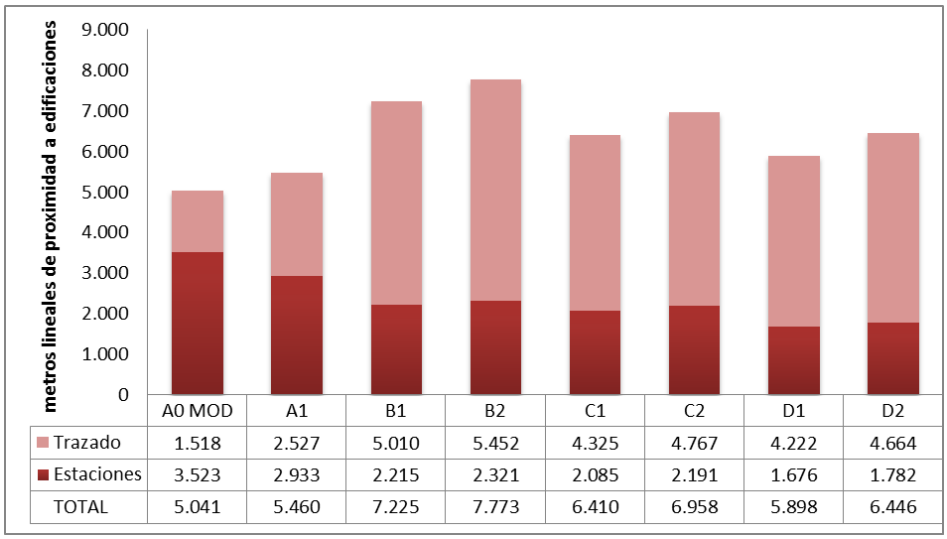
- **Criterio "Impacto Urbano", indicador proximidad con edificaciones**

Debido a la complejidad que implica la inserción de un proyecto de metro en la ciudad, tanto elevado como subterráneo producen una afectación a la infraestructura y edificaciones existentes. La cercanía de este, ya sea por estaciones, viaducto, trinchera o túnel, origina un impacto con consecuencias físicas sobre las edificaciones adyacentes. En este caso, la proximidad del proyecto con una construcción puede generar obstrucción visual, confort lumínico, auditivo y posibles daños materiales a la edificación. Estos factores contribuyen a un impacto sobre la calidad urbana en los sectores donde se inserta el sistema.

Para la cuantificación de este indicador se establecieron los siguientes criterios:

- **Tramos elevados:** Tanto para estaciones como por efectos del viaducto se cuantifica la afectación lineal (ml) de fachadas que se encuentren a menos de 10m de distancia del extremo del viaducto o de la estación.
- **Tramos subterráneos**: En el caso de estaciones y trazado subterráneo se toma como referente de afectación las cimentaciones de edificaciones que estén a una distancia menor a 10m del eje para caso del túnel. En el caso de las estaciones subterráneas se tomará como proximidad toda afectación directa que tenga esta sobre las cimentaciones vecinas.

En la siguiente figura se observan los resultados de la distancia lineal de afectación a edificaciones:



	A0 MOD	A1	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Trazado	1.518	2.527	5.010	5.452	4.325	4.767	4.222	4.664
Estaciones	3.523	2.933	2.215	2.321	2.085	2.191	1.676	1.782
TOTAL	5.041	5.460	7.225	7.773	6.410	6.958	5.898	6.446

Figura 6.85 Proximidad con edificaciones – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Se observa que la alternativa con mayor afectación es la B.2 con 7.773 ml, mientras que la que genera menor afectación es la alternativa base modificada con 5.041 ml. La diferencia entre la alternativa con mayor y la de menor afectación es de 2.732 ml.

Las familias B y C son quienes tienen una mayor afectación. Esto se debe a que estas dos familias hacen la transición entre la línea elevada hacia la subterránea lo cual requiere de una intervención en trinchera a las manzanas limítrofes entre ambos trazados.

La diferencia constante de 548 ml que resulta entre las variaciones 1 y 2 es causada por el impacto que genera el desvío del trazado por el canal del rio Fucha y la cercanía del viaducto a las edificaciones adyacentes al canal, ya que se hizo la cuantificación con la inserción del viaducto en el costado sur del canal.

Al distribuir estos valores de forma que el menor valor obtiene la calificación “A” y el mayor la calificación “E”, se obtienen las siguientes puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.29 Valores de resultados y calificación del indicador “Proximidad con edificaciones

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (ml)	5.041	5.460	7.225	7.773	6.410	6.958	5.898	6.446
Calificación	A	A	D	E	C	D	B	C

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **Criterio “Impacto Urbano”, indicador impacto visual**

La inserción de una nueva infraestructura en el entorno urbano genera un impacto visual en los habitantes de la ciudad, que puede evaluarse según la calidad y/o fragilidad paisajística y sus efectos de integración/desintegración, visibilidad y proporción.

La nueva masa de un proyecto de metro elevado implica una afectación principalmente en términos visuales y lumínicos, factores que pueden contribuir o degradar la calidad urbana del sector donde se inserta. Elementos como la escala y la materialidad toman un papel importante, mitigando un impacto negativo y aportando nuevas oportunidades en el contexto urbano.

Para la cuantificación de este criterio, se estableció como principal factor el vacío, tomado como el área libre no construida, para determinar la calidad en el sector de inserción. Utilizando la herramienta de corte transversal a lo largo de las diferentes alternativas, tanto en estaciones como en trazado, se cuantifico el porcentaje de lo construido (lleno), sobre el área libre no construida (vacío). De esta manera es posible estimar cuantitativamente un impacto que usualmente es atribuido en el ámbito cualitativo.

En la siguiente figura se observan los resultados del promedio de porcentajes para cada alternativa y en el Anexo 6.11.10 se presentan las secciones transversales típicas y la cuantificación de porcentajes de lleno:

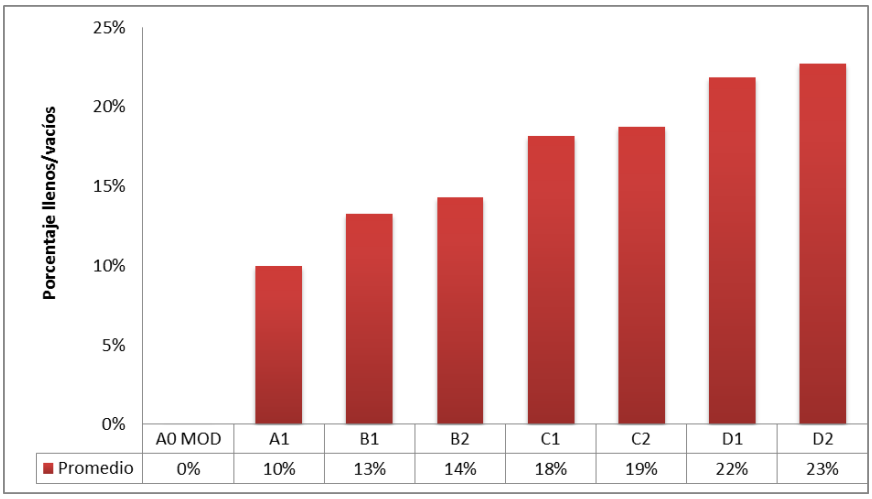


Figura 6.86 Impacto visual – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

La alternativa con mayor impacto visual es la D.2 con un resultado 23% y la que genera menor impacto es la base modificada con un resultado de 0%, lo cual es consistente teniendo en cuenta que un trazado subterráneo no genera impacto visual sobre la ciudad bajo el criterio establecido.

La diferencia constante de 1% que resulta entre las variaciones 1 y 2 es causada por el impacto que genera el desvío del trazado por el canal del rio Fucha y la cercanía del viaducto a las edificaciones limítrofes al canal, ya que se hizo la cuantificación con la inserción del viaducto sobre el costado sur del canal. El resultado refleja que las mejores alternativas son quienes se tienen una mayor longitud en tramos subterráneos.

Al distribuir estos valores de forma que el menor valor obtiene la calificación “A” y el mayor la calificación “E”, se obtienen las siguientes puntuaciones para cada alternativa:

Tabla 6.30 Valores de resultados y calificación del indicador “Impacto visual”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (%)	0%	10%	13%	14%	18%	19%	22%	23%
Calificación	A	C	C	D	E	E	E	E

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

6.8.4 Componente “Experiencia del Usuario”

- **<u>Criterio “Percepción en el uso del sistema de transporte”, indicadores apropiación de la ciudad</u>**

La inserción del proyecto metro, trae consigo una nueva manera de percibir la ciudad por parte de los usuarios que la utilizarán: la principal percepción sobre el sistema será la confianza ofrecida por la regularidad y rapidez en el servicio. Aparte de estas dos percepciones fundamentales del

servicio de transporte, los usuarios aprenderán a apropiarse de la ciudad a través del recorrido que realizarán diariamente.

Para las alternativas cuya inserción es subterránea, total o parcialmente, los usuarios desarrollan su orientación solamente a nivel de cada estación utilizada para su embarque o desembarque. Para las alternativas, cuya inserción es elevada total o parcialmente, los usuarios tienen la posibilidad de visualizar la ciudad a cada momento del avance de su trayecto.

La calificación cualitativa, según el juicio de experto, es ponderada según las longitudes de los tramos elevados y subterráneos para cada alternativa. Se asigna una puntuación de 5 a tramos elevados y 3 a tramos subterráneos (la inserción subterránea no limita al usuario en su percepción y apropiación de la ciudad a nivel de estación). La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
]5 – 4,6]	]4,6 – 4,2]	]4,2 – 3,8]	]3,8 – 3,4]	]3,4 – 3,0]

Combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.31 Valores de resultados y calificación del indicador “Apropiación de la ciudad”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	3,4	3,4	3,8	3,8	4,6	4,6	5	5
Calificación	D	D	C	C	B	B	A	A

Fuente: SYSTRA

- **<u>Criterio percepción de seguridad</u>**

La implantación y el uso de una infraestructura de transporte pueden generar en sus usuarios y en los vecinos que habitan a lo largo de su inserción una percepción de seguridad que dependerá de la política de seguridad aplicada en la ciudad por sus autoridades.

En este contexto, si la política de seguridad no es aplicada de manera rigurosa por las autoridades, existen configuraciones físicas de las infraestructuras que se prestan para que se genere el efecto contrario a la seguridad: inseguridad y deterioro físico.

Estas configuraciones son: la parte inferior del viaducto y los accesos a las instalaciones subterráneas y las estaciones subterráneas. Fue necesario la consideración de un *benchmark* sobre ejemplos en el mundo de sistemas de metro que tuviesen una extensa red de líneas, una gran cantidad de estaciones elevadas y subterráneas y una misma política de seguridad aplicada en la urbe para poder extraer de sus estadísticas las consecuencias de tener configuraciones elevadas y subterráneas.

Se ha tomado el ejemplo del sistema de metro de la ciudad de New York como referencia por tener un retorno de experiencia de 110 años, una extensa red de líneas elevadas y subterráneas y una política de seguridad en la ciudad que ha sido debatida a nivel mundial cuando lograron bajar excepcionalmente los índices de criminalidad que afectaban a la ciudad y a su sistema metro.

Por tanto, para calificar la percepción de seguridad en las diferentes alternativas de trazado e infraestructura se toma como referencia el caso del metro de New York, el cual está en servicio desde 1904, consta de 24 líneas, 468 estaciones de las cuales 277 son subterráneas y 191 son elevadas, es decir, el 59% de estaciones están bajo tierra y el 41% están sobre la superficie.[16]

Según un estudio sobre la criminalidad en el metro[17], basado en estadísticas de la MTA[18] y NYPD[19], se encontró que hubo más de 48 000 reportes de agresiones/crímenes entre el 2008 y el 2013, y la mayoría de los incidentes ocurrieron en las líneas 4, 5 y 6 durante la "hora pico" de la mañana. Además, el 62% de los incidentes se cometieron en los vagones, frente a un 38% ocurrido en las estaciones. De los incidentes ocurridos en estaciones en este período, el 70% corresponden a estaciones subterráneas según un análisis de la base de datos estadísticos sobre este tema que SYSTRA elaboró (ver Anexo 6.11.11).

La base de datos para el período 2008-13 presenta estación por estación la incidencia de incidentes de diverso tipo entre los cuales los más usuales son los robos. La siguiente tabla presenta el resumen del análisis de la base de datos por estación y número de incidentes.

Tabla 6.32 Cantidad de incidentes por tipo de estación metro de New York

Estadísticas del Subway de New York (2008-2013)	Estaciones elevadas	Estaciones subterráneas	Total
Número de estaciones	191	277	468
% tipo de estación	41%	59%	100%
Faltas cometidas en estaciones	14 708	33 663	48 371
% crímenes por tipo de estación	30%	70%	100%
Faltas cometidas/usuarios estación	0,01	0,01	0,01

Elaboración: SYSTRA

La siguiente figura presenta un ejemplo de las estadísticas para la estación subterránea con mayores casos (Times Square).

[16] MTA : New York City Transit Authority
[17] "Safest and riskiest areas of New York's subway system". New York Daily News investigation, June 22, 2014 (http://www.nydailynews.com/new-york/nyc-crime/daily-news-analysis-reveals-crime-rankings-city-subway-system-article-1.1836918)
[18] MTA : New York City Transit Authority
[19] NYPD : New York Police Department

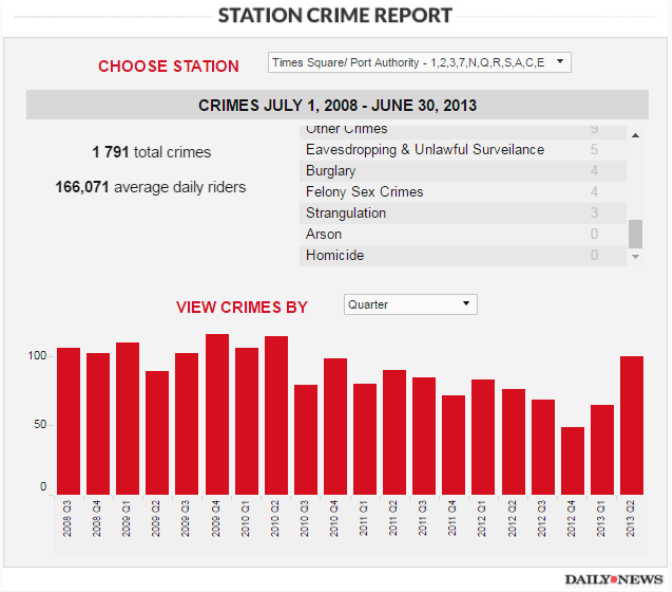


Figura 6.87 Estadísticas de crímenes entre 2008-13 en estación subterránea Times Square, NY Subway

Tomando en cuenta esta referencia, se toma la cantidad de estaciones elevadas frente a las estaciones subterráneas de cada alternativa para la PLMB para realizar la notación cualitativa.

Tabla 6.33 Cantidad de estaciones según tipo de infraestructura

Alternativa	Estación subterránea	Estación elevada
ABM	22	0
A.1	15	7
B.1	8	14
B.2	8	14
C.1	6	16
C.2	6	16
D.1	0	22
D.2	0	22

Fuente: SYSTRA

Se asigna una puntuación de 5 a la infraestructura de estaciones elevadas y de 3 a la infraestructura de estaciones subterráneas. La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
]5 – 4,6]	]4,6 – 4,2]	]4,2 – 3,8]	]3,8 – 3,4]	]3,4 – 3,0]

Combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.34 Valores de resultados y calificación del indicador “Percepción de seguridad”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	3,4	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8	4,2	4,2
Calificación	E	D	C	C	C	C	B	B

Fuente: SYSTRA

- **Criterio de percepción de salubridad e higiene**

Dadas las características de los suelos en Bogotá (presencia de un alto nivel freático y de arcillas), la humedad y la presencia de agua será una constante en el caso de la infraestructura subterránea.

A pesar del mantenimiento y de limpieza adecuados a la infraestructura (estaciones e infraestructura lineal de transporte) la configuración subterránea es propicia para la proliferación de vida animal y vegetal que tiene como fuente principal de subsistencia la falta de luz, de oxígeno y la presencia de humedad.

Las alternativas que presentan un mayor lineal de infraestructura subterránea tendrán una menor nota. La nota es dada de acuerdo al porcentaje de infraestructura subterránea presente en el sistema

Tabla 6.35 Valores de resultados y calificación del indicador “Percepción de salubridad e higiene”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	100%	68%	41%	41%	31%	31%	0%	0%
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A

Fuente: SYSTRA

6.8.5 Componente “Beneficios Sociales”

- **Criterio “Mejoras de transporte”, indicador pasajeros transportados (HP)**

El criterio relativo al número de pasajeros transportados en hora pico por alternativa se basa en los resultados provenientes del modelo de transporte en 4 etapas desarrollado por la Secretaría de Movilidad SDM de la Alcaldía Mayor de Bogotá.

El proceso de simulaciones de los desplazamientos en transporte público elaborado por la SDM se concentró para esta Actividad 2 en el horizonte de 2030, fijando para cada una de las alternativas una oferta complementaria a la línea de metro constituida por un conjunto de troncales de Transmilenio. Los resultados de carga máxima de este conjunto de troncales se presentan a continuación en las siguientes tabla y figura:

Tabla 6.36 Carga máxima (pphpd - Pasajeros por hora y por dirección) de las troncales simuladas en el horizonte de 2030

	Troncales	Carga máxima
Troncales actuales	Av. Caracas	25,000
	Autonorte	22,000
	NQS	37,000
	Av Suba	13,000
	Calle 26	13,000
	Calle 80	23,000
	Calle 13	25,000
	Carrera 10	27,000
	Av Américas	24,000
Troncales nuevas a 2030	Carrera 7	24,000
	Av Villavicencio	8,000
	Carrera 68	25,000
	Av. Boyacá	26,000
	Av Ciudad de Cali	24,000
	Av Gaitan Cortes	16,000
	Calle 170	7,000
	Calle 127	6,000
	Calle 100	18,000
	Calle 63	25,000
	Prolongación Calle 13	12,000

Fuente: SDM

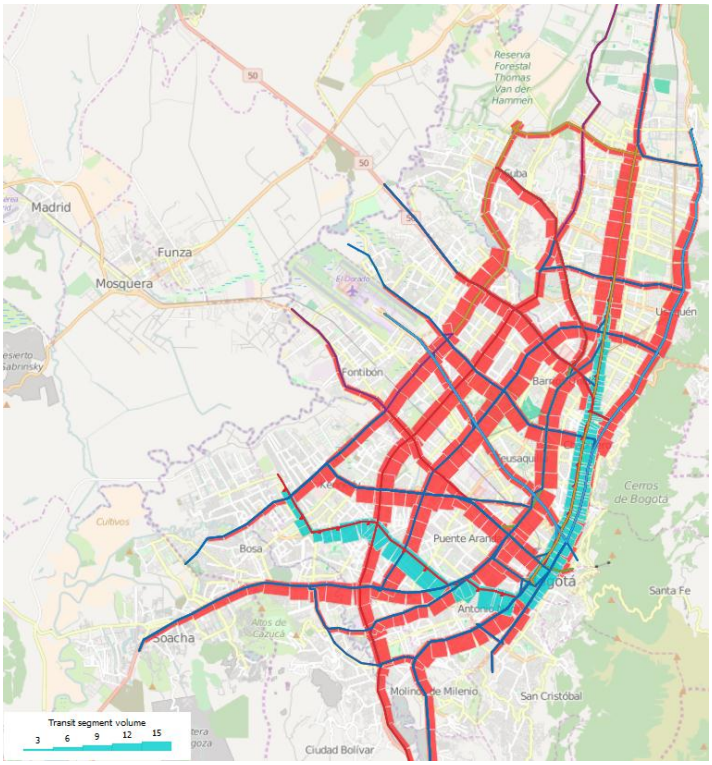


Figura 6.88 Diagrama de carga en la red de transporte masivo simulada en la HP 2030 – Fuente: SDM

La siguiente tabla, presenta los resultados consolidados de las simulaciones de desplazamientos en el modo transporte público para cada una de las alternativas (cada una considerada como un escenario de transporte). Adicionalmente, se presentan las simulaciones de los escenarios tendencial (sin nuevas troncales o metro) y del trazado CL1.

Tabla 6.37 Síntesis de los resultados de las simulaciones de desplazamientos por alternativa

Escenario	Descripción	Abordajes del metro (pax HP)	Carga máxima del metro (pphpd)	Tiempo total en transporte público (mn)	Tiempo promedio de viaje transporte público (mn)	Abordajes totales en transporte público (pax)	Desplazam. transporte público pax)	Número trasbordos promedio por viaje
0	Oferta de 2030 sin metro			38 854 928	57,01	1 137 747	681 576	1,67
1	CL1 original hasta Cll.127	79 919	28 504	38 078 376	55,87	1 129 761	681 576	1,66
Familia A	CL1 menos estaciones hasta Cll.127	82 445	30 194	38 027 068	55,79	1 128 903	681 576	1,66
Familia B	Por la Caracas hasta Cll.26 y a partir de ahí CL1, sin Parq. Nal	79 929	30 470	38 050 012	55,83	1 128 622	681 576	1,66
Familia C	Por la Caracas hasta Cll.63 y a partir de ahí CL1, sin Profamilia	82 464	32 009	38 035 608	55,81	1 128 455	681 576	1,66
Familia D	Por la Caracas/Autonorte hasta Cll.127, sin Profamilia y Cll.116	82 513	34 402	37 968 408	55,71	1 110 627	681 576	1,63

Fuente: SDM, Julio, 2016

Se puede observar, que aunque el volumen de abordajes para cada una de las alternativas es similar para las familias A y B y para las familias C y D, la carga máxima de la línea está bastante diferenciada en cada una de ellas, siendo el mayor uso para las alternativas de la familia D.

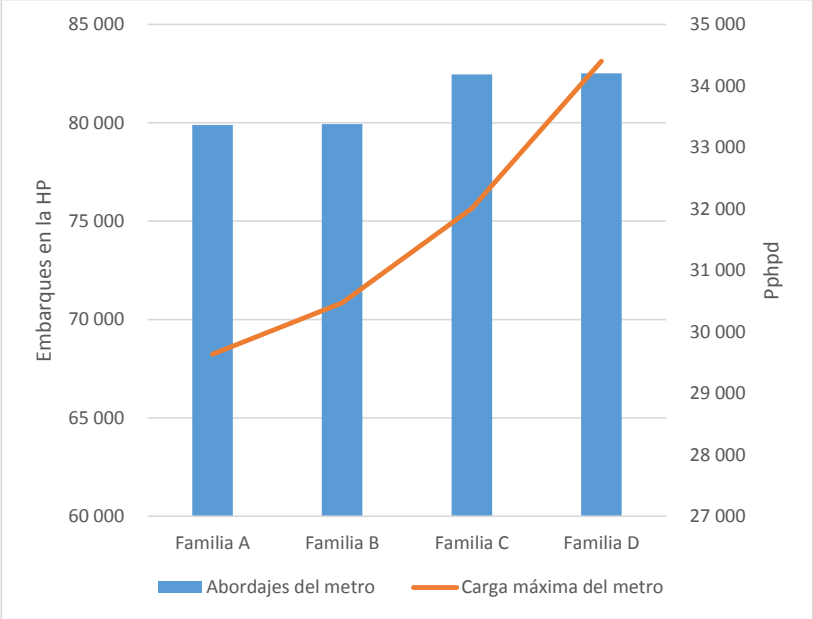


Figura 6.89 Abordajes en el metro y pphpd en la HP por alternativa – Fuente: SDM

La escala de notación utilizada es la siguiente (valor máximo para la mejor nota, valor mínimo para la nota más baja y distribución de los valores intermedios):

A	B	C	D	E
+ 82 500	82 000 – 82 500	81 500 – 82 000	81 000 - 81 500	- 80 400

Los resultados del modelo de tráfico asociados a la escala de notación son los siguientes:

Tabla 6.38 Valores de resultados y calificación del indicador “Pasajeros transportados en HP”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
N° pasajeros en la HP	79 919 pasajeros	82 445 pasajeros	79 929 pasajeros		82 464 pasajeros		82 513 pasajeros	
Calificación	E	B	E	E	B	B	A	A

Fuente: SDM

Las alternativas de la familia D presentan la demanda más elevada en hora pico de la mañana.

- **Criterio “Mejoras de transporte”, indicador ahorros en tiempo**

El criterio relativo a los ahorros en tiempo por alternativa en comparación con el escenario tendencial se basa en resultados provenientes del modelo. Las alternativas que mejoran en mayor proporción el tiempo de viaje en comparación con el servicio existente en un determinado viaje obtienen el mejor puntaje.

La escala de notación utilizada es la siguiente (valor máximo para la mejor nota, valor mínimo para la nota más baja y distribución de los valores intermedios):

A	B	C	D	E
> 872 695 min	Entre 858 870 min 872 695 min	Entre 845 046 min 858 870 min	Entre 831 221min 845 046 min	Entre < 831 221 min

Los resultados del modelo de tráfico asociados a la escala de notación son los siguientes:

Tabla 6.39 Valores de resultados y calificación del indicador “Ahorros en tiempo durante HP”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Ahorros en tiempo HP	776 552 minutos	827 860 minutos	804 916 minutos		819 320 minutos		886 520 minutos	
Calificación	E	C	D	D	D	D	A	A

Fuente: SDM

Las alternativas de la familia D presentan el ahorro más importante en comparación con el escenario tendencial.

- **Criterio “Integración BRT”, indicador facilidad de conexión BRT-Metro**

Este criterio se basa en la facilidad de transferencia entre estaciones BRT y metro ubicadas en el mismo punto. Considerando que:

- el tiempo promedio de correspondencia es de 3 minutos entre una estación de metro en viaducto y la estación de BRT (considerando una altura promedio de la estación de hasta 11,5 metros y una velocidad de caminata vertical de 2 km/h) ,
- el tiempo promedio de correspondencia es de 6 minutos entre una estación de metro subterránea y la estación de BRT (considerando una profundidad promedio de la estación de hasta 20 metros y una velocidad de caminata vertical de 2 km/h);

Y calculando, para cada alternativa:

- el número de estaciones en correspondencia con el Transmilenio,
- el número de estaciones en correspondencia BRT – viaducto,
- el número de estaciones en correspondencia BRT – túnel.

Se puede establecer el nivel de facilidad de conexión de la línea con el BRT. Cuanto más estaciones en correspondencia y en viaducto tiene una alternativa, mejor conexión BRT-metro se ofrece.

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
+ 12 estaciones en correspondencia entre las cuales 100 % en viaducto	entre 12 y 14 estaciones en correspondencia entre las cuales + 50 % en viaducto	entre 10 y 12 estaciones en correspondencia entre las cuales- 50 % en viaducto	entre 8 y 10 estaciones en correspondencia entre las cuales + 50 % en viaducto	< 8 estaciones en correspondencia entre las cuales - 50% en viaducto

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.40 Valores de resultados y calificación del indicador "Facilidad de conexión BRT-Metro"

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
N° estaciones en correspondencia BRT-Metro	8	8	8	8	10	10	14	14
Estaciones en viaducto	0	3	8	8	10	10	14	14
Calificación	E	E	D	D	C	C	A	A

Fuente: SYSTRA

6.8.6 Componente "Financiero"

- **Criterio "Costos", indicador costos de inversión línea de metro por kilómetro (incluye predios)**

Para el cálculo de los costos de inversión por kilómetro de la línea del metro, incluyendo predios, se basó en el presupuesto presentado por el Consorcio L1 y la revisión y análisis de costos de proyectos internacionales y locales similares.

En primer lugar, se tomó como base el presupuesto del Consorcio L1, el cual se encuentra discriminado en 3 divisas: COP, EUR y USD. Puesto que estos valores fueron estimados para el año 2014, se actualizaron estos valores al año 2016, por un lado, aplicando el ICCP[20] a los valores que se encuentran en pesos colombianos para el componente nacional de costos; por otro lado, aplicando una tasa de inflación del 2% y del 2,5% anual al euro y al dólar, respectivamente para el componente internacional de costos. Luego, para convertir dichos valores a pesos colombianos se utilizó una tasa de cambio definida de 3.150 para USD y 3.700 para EUR.

Una vez actualizados los valores, se agruparon los subcapítulos asociados al Costo Directo de Obra del presupuesto de CL1 en capítulos generales, a los cuales se les asignó un indicador o valor unitario. Los capítulos en los que se agrupó el presupuesto son:

1. Obra civil
2. Sistema ferroviario
3. Material rodante

[20] El valor empleado corresponde al producto de los valores del ICCP para Año Corrido del 2014 al 2015 (2,01%) y del 2015 a 2016 (4,10%), según fuente DANE.

4. Estaciones
5. Talleres y cocheras
6. Urbanismo y paisajismo
7. Obras civiles adicionales
8. AIU
9. Manejo ambiental y social
10. Desvíos y manejo de tráfico
11. Predios
12. Estudios, diseños y asistencias técnicas
13. Interventoría de obra

La metodología para obtener los indicadores o precios unitarios de cada capítulo se describe a continuación:

- **Obra civil línea**

Comprende la ejecución de la infraestructura necesaria para la línea, sin incluir la superestructura de vía y sin incluir los tramos de las estaciones. Este capítulo tiene un valor unitario diferente dependiendo de la solución técnica adoptada, sea TBM, trinchera con pantallas o viaducto.

Para obtener el indicador de túnel, tanto ejecutado con tuneladora como con trinchera con pantallas, el estudio se basó en el presupuesto presentado por CL1, el cual discrimina los valores en función de los tramos ejecutados con viaducto (ramal técnico), transición (tramo A de dicho estudio), TBM (tramos B, C y D) y con trinchera entre pantallas (tramo E). Los valores del presupuesto de CL1 incluyen la adquisición de la maquinaria y la ejecución de las instalaciones eléctricas, de ventilación, drenajes, etc.

Se actualizaron los valores a 2016 para cada tramo del proyecto de CL1; estos valores divididos por sus respectivas longitudes permitieron obtener un valor unitario para la ejecución del túnel mediante tuneladora y trinchera entre pantallas, así como de viaducto para el ramal técnico, como se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 6.41 Valores unitarios para obra civil

TIPOLOGÍA	VALOR UNITARIO	
	COP/Km	USD/Km
Túnel TBM	$ 125.038	$ 39,69
Túnel entre pantallas	$ 189.484	$ 60,15
Viaducto	$ 32.914	$ 10,45

Fuente: Consorcio L1 análisis de SYSTRA

Estos valores fueron contrastados con valores obtenidos de proyectos internacionales y locales que tengan características similares y comparables. Luego del análisis, se comprobó que el valor de túnel TBM sí corresponde a valores comunes internacionales en la ejecución de un túnel mediante TBM. Para el valor de túnel entre pantallas, además de experiencias internacionales, se analizaron presupuestos de proyectos de obras subterráneas locales ejecutadas en la modalidad de trinchera entre pantallas, como son el deprimido de la Calle 94 con la Carrera 9 de Bogotá y la Estación Museo Nacional. Realizando este análisis, se pudo constatar que el valor por kilómetro de una obra ejecutada con trinchera entre pantallas suele encontrarse en torno a los $110.000 a $120.000 millones de pesos por Km (unos 36 a 38 millones de USD Km). A pesar de la notable

diferencia, se recomienda el uso del valor unitario obtenido del proyecto del Consorcio L1, pues se considera que, al provenir de un proyecto de Ingeniería Básica ferroviario, contiene un sustento técnico mayor.

En lo que respecta al valor unitario del viaducto propuesto, se debe tener en cuenta que la variación en el valor por kilómetro se debe en gran medida al tipo de suelo; en suelos geotécnicamente peores el costo sube por la fuerte inversión necesaria para la cimentación. Por ello, se realizó la diferenciación en los tramos de viaducto para Bogotá, debido a la diferencia en el tipo de suelo existente. Se consideró como Viaducto Sur el tramo de viaducto que discurre, según el trazado propuesto, sobre suelos duros hasta la Calle 13; y como Viaducto Norte al tramo comprendido entre la Calle 13 y la Calle 127, sobre la Troncal Caracas, que discurre sobre Piedemonte y Arcilla Blanda[21]. Posteriormente, se tomaron proyectos internacionales de características geotécnicas parecidas, como son el viaducto de la Línea 12 del Metro de México y la Línea 1 del Metro de Panamá, las cuales arrojaron unos valores de obra civil asociada a la construcción del viaducto de 29 millones de USD kilómetro. La siguiente tabla presenta las referencias internacionales de costos de inversión e viaductos con similares características.

Tabla 6.42 Costos de inversión internacionales de viaductos similares

País	Viaducto por línea de metro	Indicador	
		Km netos viaducto	MM USD/Km (2016)
México	Línea 12, Ciudad de México	12,18	29,94
Panamá	Línea 1, Ciudad de Panamá	5,80	29,88
Francia	Línea 18, París	12,00	27,50
Francia	Línea 17, París	3,00	45,10

Fuente: SYSTRA

Adicionalmente, se analizaron los presupuestos de proyectos de viaductos viales que podrían tener características relativamente similares con las de un viaducto ferroviario. Se estudiaron los presupuestos del tercer nivel de la Calle 92 con la Autopista Norte, el puente de la Calle 183 con Autopista Norte y el puente de la Troncal Suba con la Av. Boyacá, que además cuenta con una estación de Transmilenio. El valor unitario por kilómetro obtenido en estos proyectos se encuentra en torno a los 60.000 millones de pesos colombianos, unos 20 millones de USD, valor que se asemeja algo más a los valores obtenidos en experiencias internacionales y muy similar al que se desprende del estudio de la Primera Línea de Metro de Bogotá del año 1998, presupuesto que fue analizado paralelamente.

Se puede observar que los valores anteriores se encuentran lejanos del valor obtenido para el ramal técnico del proyecto de CL1, lo que se debe principalmente a que la altura de este último es bastante menor, oscila entre 5 a 7 m, frente a 10 a 12 m.

Después del análisis realizado, se recomienda la utilización de los valores unitarios del proyecto del Consorcio L1 para túnel TBM y trinchera, por contar con un estudio de Ingeniería Básica como soporte, y los valores unitarios de experiencias internacionales para el viaducto, tanto norte como sur, por ser valores extendidos en los proyectos de metro de todo el mundo con características geotécnicas y alturas de gálibo similares a las planteadas para la ciudad de Bogotá.

[21] Decreto 523 de 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá

Los indicadores finalmente recomendados se pueden ver en la siguiente tabla. El viaducto adoptado con objeto de las estimaciones de costos corresponde a un viaducto estándar con altura entre 11-12 metros (nivel del riel) y separación entre pilas de 30 metros.

Tabla 6.43 Indicadores recomendados para el capítulo Obra Civil (valorados en millones)

Tipología	Indicador	
	COP/Km	USD/Km
Túnel TBM	119.700	38,0
Túnel entre pantallas	189.484	60,2
Viaducto Norte	100.800	32,0
Viaducto Sur	78.750	25,0

Fuente: SYSTRA

- **Sistema ferroviario**

Se incluyen en este capítulo los ítems referentes a Puesto Central de Control, Alimentación eléctrica, Señalización, Sistema de comunicación, Superestructura de vía y Puertas de andén.

Este indicador corresponde al valor unitario de la suma de todos los elementos por unidad de longitud (km) de línea. El valor unitario empleado y más recomendable es el obtenido del presupuesto del Consorcio L1, los cuales se actualizaron a 2016 siguiendo la misma metodología anteriormente explicada. De esta forma se obtiene un valor unitario de 44.000 millones de COP/km, equivalente a unos 14 millones de USD/km. En otras experiencias internacionales este valor puede llegar a reducirse hasta los 10 millones de USD/km, pero se recomienda el uso del valor de 14 millones de USD/km por ser el valor obtenido del proyecto de CL1 que cuenta con un estudio de Ingeniería Básica como soporte, además de permitir tener un valor del lado de la seguridad.

- **Material rodante**

Este capítulo corresponde al valor de cada tren. El tren considerado es el definido en el proyecto del CL1, es decir una composición de 6 vagones de 143 m de longitud y 3,20 m de ancho. En el presupuesto del Consorcio de CL1 se consideraba un parque motor de 47 trenes a corto plazo y 66 trenes a largo plazo. El valor unitario obtenido es de unos 12,15 millones de USD ($38.200 millones de COP), valor muy similar al valor internacional de mercado de una unidad de tren, que se encuentra en torno a los 14 millones de USD (valor muy conservador). Este último es el que se recomienda como indicador, con el objetivo de tomar un valor conservador, pues al ser un elemento que deberá ser importado, las fluctuaciones de las divisas pueden encarecer su precio.

- **Estaciones**

Supone el valor de costo directo de construcción de una estación, incluyendo todas las instalaciones y la obra civil necesaria para la línea en el tramo comprendido dentro de la estación (por tanto, este tramo no se incluye en el capítulo de Obra Civil). En este capítulo se analizó el costo unitario para una estación subterránea y una estación elevada. Para las estaciones subterráneas, se revisó el valor unitario obtenido en el presupuesto del Consorcio L1, en el que se proyectaban 27 estaciones. Este valor se encuentra en torno a los 48,5 millones de USD cada estación, para un promedio de 9.000 m2 por estación subterránea.

En el caso de estaciones elevadas, se realizó un estudio del valor de los centros comerciales construidos en los últimos años en la ciudad de Bogotá, pues la ejecución de una estación elevada puede asemejarse bastante a la de estos centros. Este análisis arrojó un valor unitario de unos 6,7

millones por metro cuadrado; este valor se incrementó en torno a un 12% debido a que se debe incluir la obra civil para la vía y debido a que las instalaciones que se deben incluir en las estaciones son algo más complejas que las de un centro comercial. Por tanto, se tomó un valor unitario de 7,5 millones de pesos colombianos por metro cuadrado.

Seguidamente, se realizó una estimación de la superficie que requiere una estación elevada, incluyendo áreas púbicas, cuartos técnicos y accesos, lo que supone una superficie aproximada de unos 6.700 m^2. Esto implica que el valor unitario por estación elevada es de unos 50.400 millones de pesos, equivalente a unos 16 millones de USD. Este valor es el que se toma como indicador.

Para complementar y validar el análisis de estaciones subterráneas y elevadas se realizó un estudio comparativo de la cantidad de metros cuadrados necesarios para las áreas públicas y técnicas en estaciones elevadas y subterráneas. Los promedios encontrados para el caso de las estaciones elevadas llagan a un valor de 7000 m^2 (en estaciones con un largo de andén un poco superior, 160m en vez de los 143m de Bogotá) lo cual corrobora el cálculo de una necesidad de 6.700 m² que se toman para la cuantificación. Para el caso de las estaciones subterráneas, el promedio encontrado para estaciones similares a las de Bogotá es de 10.500 m², lo cual corrobora la estimación realizada en el proyecto del Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1.

Tabla 6.44 Estudio comparativo internacional de metrajes de estaciones de metro

Características		Jeddah	Jeddah	Makkah	Makkah	Doha	Cairo	Delhi L7	Estación promedio	Estación promedio
Descripción	Infraestructura	Subterr.	Elevada	Subterr.	Elevada	Subterr.	Subterr.	Subterr.	Subterr.	Elevada
	Estatus	En diseño	En diseño	En diseño	En diseño	En constr.	En operación	En constr		
Total	Área pública (m²)	3.474	3.116	8.875	4.987	2.847	3.682	5.064	4.788	4.052
	Área técnica (m²)	5.847	3.223	7.625	2.670	6.745	4.655	3.912	5.757	2.947
	Total m²	**9.321**	**6.339**	**16.500**	**7.657**	**9.592**	**8.337**	**8.976**	**10.545**	**6.998**
	Longitud andenes (m)	120	120	200	200	120	134	144	144	160
	Longitud estación (m)	260	150	275	200	162	150	264	222	175

Fuente: SYSTRA

- **Talleres y cocheras**

Este capítulo incluye únicamente la construcción de los talleres y cocheras, cuyas dimensiones resultan en función del número de trenes a los que se debe realizar mantenimiento. Es por ello que el indicador es por número de trenes y no por metro cuadrado. El valor se tomó basándose en el presupuesto de CL1, en el que se estimaba un parque motor de 66 trenes para el año 2050, resultando un valor unitario de $ 8.200 millones de pesos por tren (2,6 millones USD), valor que se recomienda como indicador.

- **Urbanismo y paisajismo**

Este capítulo incluye las actuaciones de tipo urbano que se estiman para un kilómetro de la línea de metro. Se contrastó el valor unitario del presupuesto de CL1 con los valores unitarios de algunos proyectos locales, asumiendo las siguientes características viales y urbanas:

- Andenes de 5 metros en cada uno de los costados de la vía
- Vías mixtas de dos carriles por sentido en pavimento flexible
- Paisajismo
- Reconstrucción y/o reubicación de puentes peatonales existentes

- Reconstrucción de puentes vehiculares afectados por el trazado

El valor unitario obtenido de los proyectos locales se encuentra en torno a los 11.800 millones de pesos, mientras que en el proyecto de CL1 este valor ascendía a los $15.000 millones de pesos por kilómetro. Con el objetivo de homogeneizar con los proyectos locales y otorgar un valor promedio, se recomienda un indicador de $ 12.600 millones pesos por kilómetro (4 millones de USD) para todas las alternativas de trazado.

Tabla 6.45 Indicadores capítulo de urbanismo y paisajismo (valores en millones)

Capítulo	Indicador	
	COP/Km	USD/Km
Urbanismo y paisajismo	$ 12.600	$ 4,0

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **Obras civiles adicionales**

Este capítulo incluye los subcapítulos de Obras de Estructuras afectadas y Desvíos de tráfico del presupuesto de CL1. El valor unitario de este presupuesto corresponde a estas actuaciones por cada kilómetro de ejecución de línea, y estaba alrededor de los $12.300 millones de pesos colombianos ($ 4 millones de USD). En este caso, se recomienda que el manejo de los desvíos de tráfico quede como un costo adicional al costo directo, por lo que este valor unitario se redujo con respecto al obtenido de CL1, resultando el indicador que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6.46 Indicadores capítulo de obras civiles adicionales (valores en millones)

Capítulo	Indicador	
	COP/Km	USD/Km
obras civiles adicionales	$ 11.025	$ 3,5

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Por tanto, el resumen de los valores de indicadores recomendados para los capítulos asociados al Costo Directo de Obra para las diferentes alternativas es el siguiente:

Tabla 6.47 Indicadores capítulos de costos directos (valores en millones)

Capítulo	Unidad	Indicador (COP)	Indicador (USD)
Obra civil			
TBM	Km	$ 119.700	$ 38,0
Trinchera	Km	$ 189.484	$ 60,2
Viaducto Norte	Km	$ 100.800	$ 32,0
Viaducto Sur	Km	$ 78.750	$ 25,0
Sistema ferroviario	Km	$ 44.100	$ 14,0
Material rodante	Tren	$ 44.100	$ 14,0
Estaciones			
Subterránea	Un	$ 153.167	$ 48,6
Elevada	Un	$ 50.400	$ 16,0

Capítulo	Unidad	Indicador (COP)	Indicador (USD)
Talleres y cocheras	Tren	$ 8.190	$ 2,6
Urbanismo y paisajismo	Km	$ 12.600	$ 4,0
Obras civiles adicionales	Km	$ 11.025	$ 3,5

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Una vez obtenidos los valores de los indicadores para el costo directo, se establece un valor para el A.I.U. y para los otros costos a tener en cuenta. El valor del A.I.U. se establece en el 25%, muy próximo al valor obtenido por el Consorcio L1 (24,56%) y similar al que se obtiene en proyectos locales de gran magnitud, como las troncales de Transmilenio.

Los otros costos que se deben tener en cuenta, una vez sumado el costo indirecto (A.I.U), comprenden los siguientes capítulos:

- Manejo ambiental y social: incluye manejo ambiental y social del corredor.
- Desvíos y manejo de tráfico: incluye todos los desvíos necesarios durante la fase de construcción de la línea.
- Predios: incluye la adquisición de predios a lo largo del trazado y en estaciones
- Estudios, diseños y asistencias técnicas: el indicador propuesto incluye diseños de ingeniería y arquitectura, financieros y legales y asistencias técnicas para la fase de licitación y acompañamiento durante la operación.
- Interventoría de obra

Si bien en el presupuesto de CL1 estos valores están definidos, en estos casos se recomienda asignar a cada capítulo un porcentaje respecto del Costo de Obra (incluyendo A.I.U.). Los porcentajes recomendados, con base en proyectos locales de gran magnitud y otras experiencias internaciones, pueden verse a continuación:

Tabla 6.48 Porcentajes para otros costos

Otros costos	Porcentaje
Manejo ambiental y social	2,5%
Desvíos y manejo de tráfico	4,0%
Predios	Costo global estimado
Estudios, diseños y asistencias técnicas	4,0%
Interventoría fase de obra	5,0%

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

El capítulo de Predios, cuyo costo es el único que es calculado directamente a valor global estimado dependiendo de la cantidad de metros cuadrados y costo del mismo, y no con indicador. La metodología para calcular el costo de predios se explica a continuación:

- En primer lugar, se tomó la cartografía de la base catastral del distrito para la localización de los lotes afectados por el trazado en planta, y cartografía IDECA que determina el valor del metro cuadrado de terreno construido por zonas en la ciudad de Bogotá.
- Con el valor del metro cuadrado se estableció un costo promedio para cada estación y un valor promedio para el tramo entre estaciones.

- Para convertir el número de lotes afectados al número de predios afectados, se realizó una estimación en cada uno de los puntos del trazado (estaciones e inter-estaciones) para determinar el número promedio de altura para estaciones y para los tramos entre estaciones.
- Debido a que el valor comercial del metro cuadrado de predio es diferente al de terreno construido, se realiza un ajuste mediante un factor de conversión y se calcula el valor del producto del número de predios afectados y el valor comercial ajustado.
- Una vez obtenido este resultado para la alternativa base, se contrasta con los valores obtenidos en el Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio CL1, tanto en número de predios, como en valor de inversión para predios y legalización. Debido a las aproximaciones realizadas, los valores no son coincidentes para el cálculo aproximado realizado, debido sobre todo al empleo de valores promedio tanto en el valor comercial del metro cuadrado de predio, como en el número de alturas de cada lote afectado.
- Se analiza la diferencia de los valores de predios afectados y valor económico para predios para encontrar los factores de corrección y se extrapolan para el resto de alternativas.

Puesto que este cálculo es aproximado, se emplea esta metodología para todas las alternativas, incluyendo la Alternativa Base Modificada, realizada por CL1 (Ver Anexo 6.11.12).

El proceso de cálculo de los costos totales de inversión finaliza con la estimación de la longitud de cada tipo de solución para la línea (km de TBM, km de trinchera, km de viaducto sur y norte), la flota de trenes (calculada con base en la demanda al horizonte de 2030 para todas las alternativas suministrada por la SDM y con base en las características de cada línea según velocidad comercial , intervalo de servicio y condicionantes operativas) y el número de estaciones, todos ellos para cada alternativa. El producto de cada indicador con la unidad asociada permite obtener un valor estimado de lo que supondrá el total del costo directo; adicionando el AIU y los demás costos, con adquisición predial, se obtiene el valor total de inversión para cada una de las alternativas.

Por último, dividiendo el costo total de inversión por la longitud total de la línea hasta la Calle 127, se obtiene el costo por km de cada alternativa, que es el empleado para la matriz multicriterio. El costo por km de inversión, incluyendo predios, de cada alternativa se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 6.49 Costo total y costo por km para cada alternativa (millones COP)

Alternativa	Costo total (MM COP)	Costo por MM COP/km
Base modificada	15.053.034	556.319
A.1	13.840.048	510.457
B.1	12.574.248	468.271
B.2	12.591.524	472.054
C.1	12.278.148	457.355
C.2	12.285.807	460.700
D.1	10.625.657	411.383
D.2	10.633.317	414.540

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Normalizando los valores, asignando una calificación A al que menos costo por kilómetro tiene y E al que más, se obtienen las siguientes calificaciones:

Tabla 6.50 Valores de resultados y calificación del indicador “Costos de inversión proyecto metro por kilómetro (incluye predios)

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (MM COP/Km)	556 319	510.457	468 271	472 054	457 355	460 700	411 383	414 540
Calificación	**E**	**D**	**C**	**C**	**B**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **Criterio “Costos”, indicador costos de operación y mantenimiento**

Los costos de explotación están representados en personal, consumo eléctrico, mantenimiento y remplazo de elementos de vía, del material rodante y equipamientos fijos en estación. En el caso de un túnel, el consumo eléctrico es mayor ya que tienen que funcionar en permanencia los sistemas de ventilación, anti fuego e iluminación. En el caso de las estaciones subterráneas, el equipamiento de ventilación y extracción de humo es primordial tenerlo en permanente funcionamiento.

Según este planteamiento, se realizaron estimaciones para calcular el costo de explotación (operación y mantenimiento) para los tramos de inserción subterránea y elevada y según la combinación del tipo de inserción para cada alternativa. Adicionalmente, se ha considerado un sistema de metro automático de nivel GoA4 (sin conductores y con puertas de andén). La estimación identifica un costo de explotación de 4,75 USD/vagón.km en el caso de la inserción subterránea y de 4,56 USD/ vagón.km en el caso de la inserción elevada.

Estos valores se aplicaron a la cantidad de vagones kilómetro producidos en la hora pico, según la longitud de la línea entre terminales, la frecuencia y el pphpd de cada alternativa para ser servidos por trenes de 6 vagones.

En la siguiente tabla se pueden observar tres situaciones:

1. las alternativas subterráneas tienen mayor longitud que las elevadas y por tanto los trenes deben efectuar mayor cantidad de trenes.km;
2. la alternativa subterránea ABM tiene un 14% menos de carga máxima en línea, 30 194 pphpd contra 34 402 pphpd de la alternativa D.1 (ver Tabla 35 de este informe) y por tanto necesitan satisfacer esta demanda con un diferencial de trenes.km que es mayor en la alternativa D.1 y
3. el costo unitario de vagón.km según tipo de inserción es 4% mayor en infraestructura subterránea que en infraestructura elevada (4,75 vs 4,56 USD/vagon.km).

Sin embargo, el balance final estimado a través del costo de los trenes por kilómetro indica que es menos costoso mover la flota en la hora pico para las alternativas de la familia D que las de la familia A.

Tabla 6.51 Estimación de las características operacionales de cada alternativa

	ALTERNATIVAS							
	ABM		A1		B1		B2	
Tipo inserción	Subterr.	Elevado	Subterr.	Elevado	Subterr.	Elevado	Subterr.	Elevado
Distancia total (km)	27,06		27,13		26,86		26,68	
% inserción	100%	0%	68%	32%	41%	59%	41%	59%
Trenes.km	854,62	0,00	615,20	289,17	371,58	536,33	371,58	530,38
Costo USD/vagon.km	4,75	4,56	4,75	4,56	4,75	4,56	4,75	4,56
Costo por tramo (USD)	24 403	0	17 629	7 971	10 596	14 712	10 596	14 548
Costo total USD (HP)	24 403		25 600		25 307		25 144	
Total USD/tren.km	**28,55**		**28,31**		**27,87**		**27,88**	

	ALTERNATIVAS							
	C1		C2		D1		D2	
Tipo inserción	Subterr.	Elevado	Subterr.	Elevado	Subterr.	Elevado	Subterr.	Elevado
Distancia total (km)	26,85		26,68		25,83		25,65	
% inserción	31%	69%	31%	69%	0%	100%	0%	100%
Trenes.km	292,00	655,81	292,00	649,54	0,00	983,87	0,00	977,13
Costo USD/vagon.km	4,75	4,56	4,75	4,56	4,75	4,56	4,75	4,56
Costo por tramo (USD)	8 377	18 099	8 377	17 926	0	27 037	0	26 852
Costo total USD (HP)	26 477		26 303		27 037		26 852	
Total USD/tren.km	**27,93**		**27,94**		**27,48**		**27,48**	

Fuente: SYSTRA

Normalizando los valores, asignando una calificación A al que menor costo tren. Kilómetro tiene y E al que más, se obtienen las siguientes calificaciones:

Tabla 6.52 Valores de resultados y calificación del indicador “Costos de operación y mantenimiento

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Total USD/tren.km	28,55	28,31	27,87	27,88	27,93	27,94	27,48	27,48
Calificación	**E**	**D**	**B**	**B**	**C**	**C**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA

6.8.7 Componente “Riesgos”

- **<u>Criterio “Riesgo geotécnico”, indicador subsidencia y derrumbes (características geotécnicas)</u>**

El criterio “riesgo geotécnico” consiste en identificar los impactos sobre las estructuras de línea según su configuración constructiva (túnel con tuneladora, túnel entre pantallas, viaducto).

Para evaluarlo, se determinó el nivel de facilidad de construcción de cada tipo de infraestructura con una nota de 3 (peor resultado) a 5 (mejor resultado):

- **Infraestructura tipo túnel – Nota: 3/5**

El contexto geotécnico presenta un riesgo de peligros durante las obras que pueden provocar aún más impactos sobre un túnel como subsidencias y derrumbes. Cada peligro puede causar el cese de las obras durante varios días.

- **Infraestructura tipo túnel entre pantallas – Nota: 4/5**

El riesgo geotécnico para las trincheras cubiertas es menos importante que el túnel. Sin embargo, las condiciones de obras son bastante difíciles respecto a las condiciones geotécnicas.

- **Infraestructura tipo viaducto – Nota : entre 4 y 5/5**

El rendimiento de realización dependerá esencialmente de la zona de implantación del viaducto. El análisis del trazado indica que éste se divide en tres zonas según la complejidad del sitio:

- Zona 1 (desde Portal Américas hasta Avenida 68) – Nota 4/5
- Zona 2 (entre Avenida 68 y Calle 13) – Nota 4/5
- Zona 3 (desde Calle 13 hasta Calle 127) – Nota 3/5

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
]5 – 4,6]	]4,6 – 4,2]	]4,2 – 3,8]	]3,8 – 3,4]	]3,4 – 3,0]

Normalizando los valores, combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes (asignando una calificación A a la mayor nota y de E a la menor):

Tabla 6.53 Valores de resultados y calificación del indicador “Subsidencia y derrumbes”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	3,3	3,7	4,0	4,0	4,3	4,3	4,6	4,6
Calificación	**E**	**D**	**C**	**C**	**B**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA

Las alternativas de proyecto que tienen tramos en viaducto y que se encuentren en un contexto geotécnico favorable obtendrán un mejor puntaje.

- **<u>Criterio “Riesgo sísmico”, indicador riesgo sísmico para las estructuras (SYSTRA)</u>**

El criterio “riesgo sísmico” consiste en identificar los impactos sobre las estructuras de la línea según su configuración constructiva y la microzonificación sísmica.

Para evaluarlo, se determinó el nivel de no vulnerabilidad al riesgo sísmico para cada tipo de infraestructura con una nota de 3 (peor resultado) a 5 (mejor resultado):

- **Infraestructura tipo túnel – Nota: 4/5**

El túnel se comporta correctamente en caso de sismo salvo para las estaciones subterráneas que pueden sufrir algunos daños.

- **Infraestructura tipo túnel entre pantallas – Nota: 4/5**

El riesgo sísmico para las trincheras cubiertas es menos importante que el túnel. Sin embargo, las condiciones de obras son bastante difíciles respecto a las condiciones sísmicas.

- **Infraestructura tipo viaducto – Nota: 3/5**

El viaducto es más vulnerable a los sismos. Sin embargo, al considerar los progresos técnicos realizados en materia de construcción para-sísmica y los retornos de experiencia sobre obras en servicio, los impactos sísmicos sobre viaductos son bastante limitados y sobretodo las reparaciones y el restablecimiento de la operación del metro muy rápidos.

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
]5 – 4,6]	]4,6 – 4,2]	]4,2 – 3,8]	]3,8 – 3,4]	]3,4 – 3,0]

Normalizando los valores, combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes (asignando una calificación A, a la mayor nota y de E a la menor):

Tabla 6.54 Valores de resultados y calificación del indicador “Riesgo sísmico”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	4,6	4,2	3,8	3,8	3,4	3,4	3,0	3,0
Calificación	**A**	**B**	**C**	**C**	**D**	**D**	**E**	**E**

Fuente: SYSTRA

Las alternativas en túnel presentan un menor nivel de riesgo sísmico, mientras que la familia D que solo contiene alternativas integralmente en viaducto poseen la menor nota.

- **Criterio “Riesgo sobre el Cronograma”, indicador incertidumbre sobre el rendimiento de construcción**

El criterio “riesgo sobre el cronograma” consiste en considerar el criterio de rendimiento de la construcción de la línea según su configuración (subterránea o aérea) y el contexto urbano del trazado (densidad urbana, presencia de redes, calles estrechas, etc...).

Para evaluarlo, se determinó el nivel de facilidad de realización para cada tipo de infraestructura con una nota de 3 (peor resultado) a 5 (mejor resultado).

- **Infraestructura tipo túnel – Nota: 3/5**

El contexto geotécnico de Bogotá permite obtener un rendimiento elevado de progreso de las tuneladoras. Sin embargo, la construcción de las estaciones subterráneas necesitará un tiempo de realización importante.

- **Infraestructura tipo túnel entre pantallas – Nota: 3/5**

La configuración y las zonas de implantación de las trincheras imponen la previsión de actuar por etapas y métodos de obras complejos que provocaran rendimientos elevados. Una nota de 3/5 está atribuida a este tipo de infraestructura.

- **Infraestructura tipo viaducto – Nota: entre 3 y 5/5**

El riesgo geotécnico es importante para el viaducto, pero en caso de peligros el progreso de las obras no será impactado ya que los apoyos son puntuales. Por eso se puede contemplar proseguir los trabajos sobre otros apoyos antes de resolver el problema. Para este riesgo se identifican 3 zonas de viaducto según la complejidad del contexto geotécnico

- Zona 1 (desde Portal Américas hasta Avenida 68) – Nota 5/5
- El viaducto está implantado en el eje de la vía con una configuración urbana poco densa. También, el contexto geotécnico es favorable con respecto a zonas ubicadas más al norte. Por eso el rendimiento es más elevado.
- Zona 2 (entre avenida 68 t calle 13) – Nota 4/5
- El viaducto está ubicado en un sitio presionado por la presencia de redes.
- Zona 3 (desde calle 13 hasta calle 127) – Nota 3/5
- El viaducto está en interfaz con el BRT lo que necesita fases de realización y obligaciones de ejecución importantes.

La escala de notación utilizada es la siguiente:

A	B	C	D	E
> = 3,8	]3,8 – 3,6]	]3,5 – 3,3]	]3,3 – 3,1]	< = 3

Combinando las notas por tipo de infraestructura y según las características constructivas y el lineal total de cada alternativa, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.55 Valores de resultados y calificación del indicador “Riesgo sobre el cronograma”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	3,0	3,2	3,4	3,4	3,7	3,7	3,8	3,8
Calificación	**E**	**D**	**C**	**C**	**B**	**B**	**A**	**A**

Fuente: SYSTRA

La alternativa más desfavorable es la alternativa base modificada. En cuanto a las alternativas que cuentan con tramos en viaducto, su nivel de riesgo sobre el cronograma disminuye en la medida que esta infraestructura sea mayor.

- **Criterio “Riesgo de Gestión Predial”, indicador capacidad de gestión para la adquisición predial**

Para cada una de las alternativas de trazado y a partir del plano catastral, se realizó la identificación del número de lotes que posiblemente se verán afectados por la inserción del proyecto y que deberán ser adquiridos para la ejecución del proyecto. La identificación de lotes se realiza según sea el tramo elevado o subterráneo, como se describe a continuación:

Tramos elevados. Se consideran tres tipos de afectaciones: por trazado, estaciones y por cercanía a fachadas, los cuales se identifican según los siguientes criterios.

- Trazado: corresponde a los lotes que se sobreponen a los 10,5 m del ancho del viaducto.[22]
- Estaciones: a partir de la inserción urbana de las estaciones y según la definición funcional de las áreas de acceso, se realiza una primera aproximación a los predios de acceso a las estaciones. Para cada una de las estaciones elevadas se realizó la revisión de las características del entorno y se define como criterio general un acceso principal de aproximadamente 2.100 m² y tres accesos secundarios de 400 m² (40 m x 10 m) solo para circulaciones.
- Fachadas: según se describió en el indicador "proximidad con edificaciones" del componente urbano-paisajístico, con el fin de minimizar el impacto visual del sistema elevado se ha definido una distancia mínima a las fachadas de las edificaciones de 10m a partir del borde del viaducto. En este sentido, se revisó el plano catastral de construcciones y se identificaron aquellos lotes cuyas construcciones quedaran en la franja de los 10m.

La siguiente figura ilustra los tres tipos de afectaciones prediales para tramos elevados:

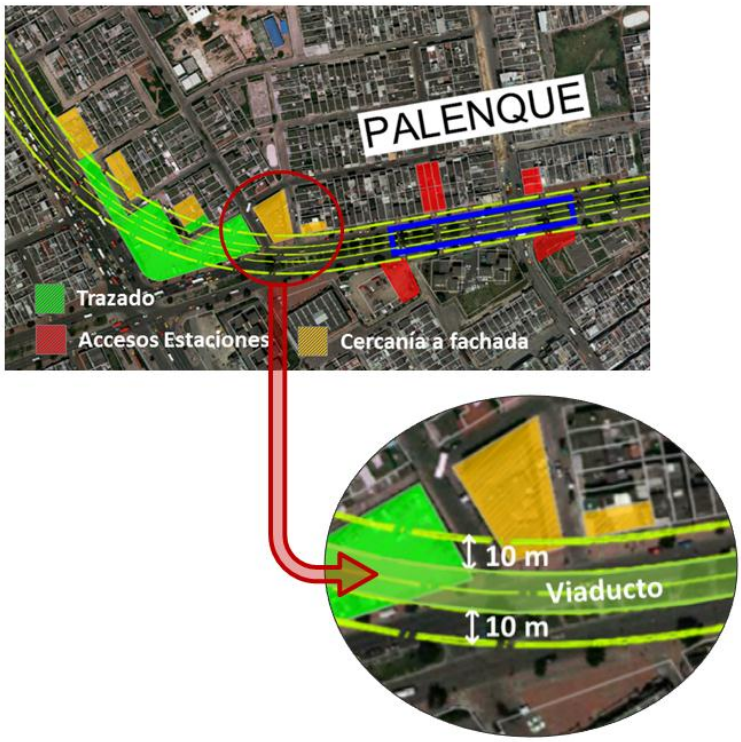


Figura 6.90 Ejemplo de identificación de lotes afectados por la inserción de la PLMB por trazado, estaciones y fachada – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Tramos subterráneos. Se consideran dos tipos de afectaciones: por trazado y por estaciones los cuales se identifican según la información del estudio CL1. Si bien dicho estudio realizó una estimación detallada con información secundaria y trabajos de campo del número y costos para la adquisición predial, las alternativas de trazado correspondientes a este estudio se analizaron siguiendo un mismo criterio que para los tramos elevados, con el objetivo de homogenizar el

[22] El viaducto estándar puede tener una anchura máxima de 10,50 metros según el tipo de tablero adoptado. No se ha considerado una configuración específica de tablero

cálculo de todas las alternativas. En este sentido, la información empleada del CL1 corresponde únicamente a la ubicación de los lotes.

Es de aclarar que los lotes identificados por su cercanía a las cimentaciones en el indicador "proximidad con edificaciones" del componente urbano-paisajístico, no fueron cuantificados en este indicador, debido a que se considera que no requieren su adquisición, sino que hacen parte de un plan de auscultación según el producto 3: "estudio geotécnico-plan de auscultación" elaborado por CL1 mediante Contrato IDU-849 de 2013.

Siguiendo la metodología anterior, en el Anexo 6.11.13 se puede ver la identificación de predios según la inserción de los trazados y estaciones, y en la siguiente tabla se resume la cuantificación.

Tabla 6.56 Número de lotes afectados por la inserción de la PLMB por cada alternativa

Alternativa	Número de Lotes Afectados por			Total
	Trazado	Estaciones	Fachadas	
Base modificada	68	407	-	**475**
A.1	86	275	97	**458**
B.1	90	204	213	**507**
B.2	128	200	225	**553**
C.1	86	182	213	**481**
C.2	124	178	225	**527**
D.1	43	174	217	**434**
D.2	81	170	229	**480**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Ahora bien, para realizar la conversión del número de lotes a número de predios afectados por la inserción de la PLMB en cada alternativa, se realizó el siguiente procedimiento:

- Se identificó mediante la herramienta *Street View* de *Google Earth* la altura promedio de las edificaciones por sectores: en estaciones e inter-estaciones.
- Considerando que se tiene el valor real del número de predios para la alternativa base subterránea de 950 predios (sin considerar ramal técnico), se estimó el factor de conversión del producto de número de lotes y alturas promedio de manera que se obtengan el valor total de predios. El factor calculado fue de 0,62, no obstante, debido a las aproximaciones realizadas y por buscar un valor conservador se empleó un factor de conversión más alto para los tramos elevados de 0,9.

Con lo anterior, la siguiente tabla resume el número de predios afectados por cada alternativa según el tipo de afectación (trazado, estaciones y fachadas) y la tabla presentada posteriormente presenta la calificación en los cinco niveles:

Tabla 6.57 Número de predios afectados por la inserción de la PLMB por cada alternativa

Alternativa	Número de lotes afectados por			Total
	Trazado	Estaciones	Fachadas	
Base modificada	146	667	-	**813**
A.1	205	470	**262**	**937**
B.1	182	375	**470**	**1.027**
B.2	230	369	**489**	**1.088**
C.1	179	355	**471**	**1.005**
C.2	228	350	**489**	**1.067**
D.1	104	309	**474**	**887**
D.2	153	304	**492**	**949**

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Tabla 6.58 Valores de resultados y calificación del indicador “Capacidad de gestión para la adquisición predial”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Valor resultado (No. predios)	813	937	1.027	1.088	1.005	1.067	887	949
Calificación	A	C	D	E	D	E	B	C

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

- **<u>Criterio “Riesgo Financiero”, indicador incertidumbre sobre el costo del proyecto</u>**

El criterio “riesgo financiero” se basa en la incertidumbre sobre el costo del proyecto: se trata de determinar el nivel de riesgo global de cada alternativa combinando los niveles de riesgo de cada tipo de infraestructura respecto a sus costos de inversión.

Como combinación de otros 3 criterios, la ponderación considerada para evaluar el criterio “riesgo financiero” es la siguiente:

Riesgo financiero	Ponderación
Riesgo geotécnico	14%
Riesgo sobre el rendimiento de construcción	18%
Costos de inversión	68%

Esta escala propuesta está basada en el conocimiento que se tiene de proyectos para los cuales se realiza una ingeniería y un presupuesto de ejecución y luego al terminar las obras se conocen los sobrecostos que han tenido.

En cuanto a obras civiles de túneles el sobrecosto puede llegar al 100%. Para el caso de viaductos el sobrecosto puede llegar al orden de 30%.

Se tiene como información reciente el caso del metro de Quito: después de haber realizado una ingeniería de detalle el presupuesto estimado llegó al monto de 1 000 MM USD, sin embargo solamente en el momento de la adjudicación de la obra se presentó un sobrecosto del 50% (la obra

se adjudicó al menor precio propuesto 1 490 MM USD, el mayor precio propuesto fue de 2 000 MM USD).

En el caso de la Línea 12 del metro de México, el sobrecosto en las obras civiles ha sido del orden de 60% en promedio para ambos tipos de infraestructura subterránea y elevada. En efecto, el contrato original de construcción fue de 15 290 millones de MXN y terminó costando 24 500 millones MXN. Discriminando por tipo de infraestructura, el sobrecosto del tramo del túnel fue del orden de 70% y el del viaducto de 30%.

En el caso del metro de Santiago de Chile, el sobrecosto en la construcción del viaducto fue de solamente 18%.

La escala de notación utilizada y los resultados obtenidos por alternativa son los siguientes:

A	B	C	D	E
]5 – 4,6]	]4,6 – 4,2]	]4,2 – 3,8]	]3,8 – 3,4]	]3,4 – 3,0]

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6.59 Valores de resultados y calificación del indicador “Riesgo financiero”

	BASE MOD	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Nota	3,0	3,4	3,8	3,8	4,2	4,2	4,6	4,6
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A

Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Las alternativas de la familia D, totalmente en viaducto, presentan el menor nivel de riesgo financiero.

6.9 EVALUACIÒN Y COMPRACIÒN DE LAS ALTERNATIVAS

Basándose en la evaluación multicriterio se identificaron las alternativas más viables. A continuación se presentan las conclusiones en dos etapas: - comparación entre las alternativas dentro una misma familia, - comparación entre todas las alternativas sin distinción de familia.

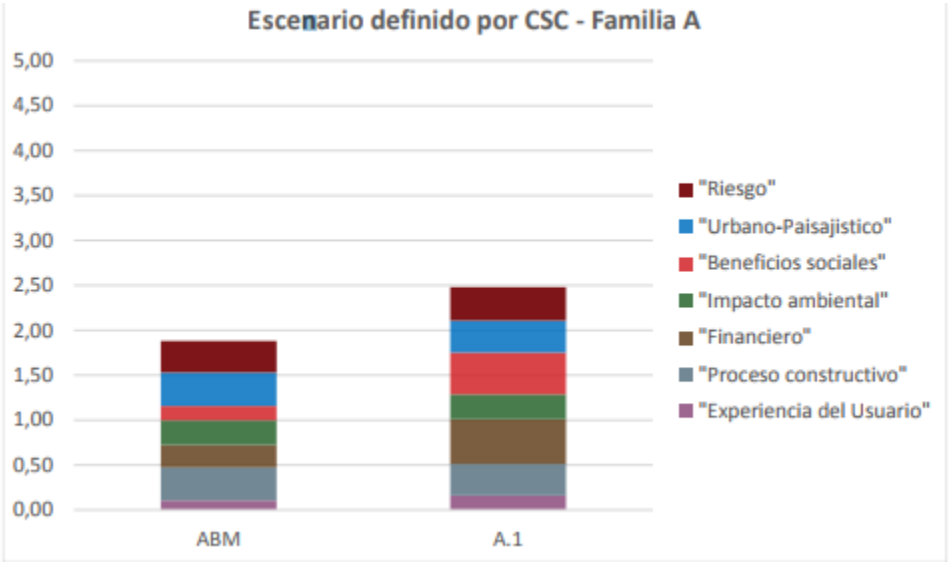


Figura 6.91 Resultados del AMC – Familia A

Las alternativas de la familia A presentan una nota global bastante débil: la alternativa ABM obtiene un puntaje total de 1,88/5 y la A.1 de 2,48/5. El componente financiero es el elemento discriminante entre las 2 alternativas, la A.1 siendo menos costosa de la ABM.

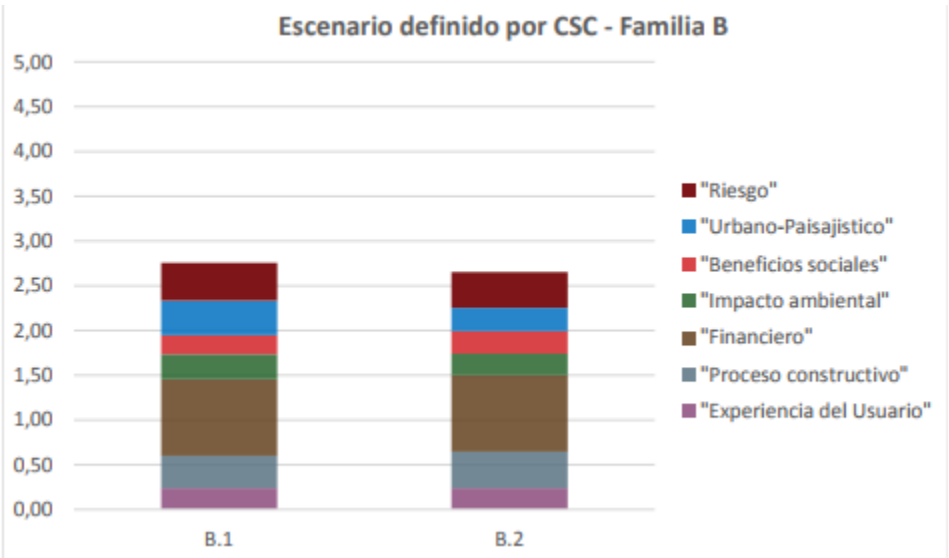


Figura 6.92 Resultados del AMC – Familia B

En la familia B, las alternativas presentan pocas diferencias (nota global de 2,76/5 para B.1 y 2,65/5 para B.2).

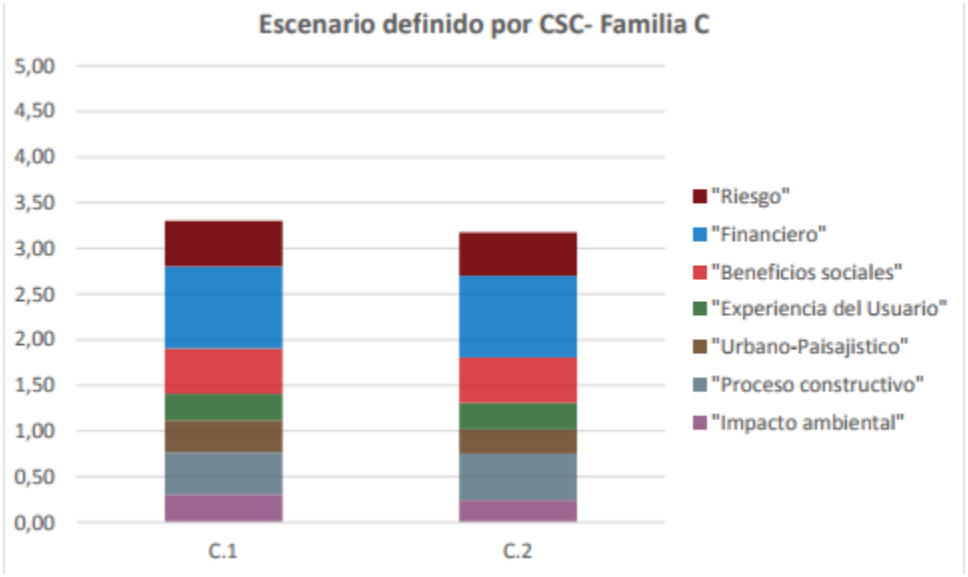


Figura 6.93 Resultados del AMC – Familia C

Para la familia C, los resultados obtenidos por cada alternativa son bastante correctos, y otra vez, una alternativa no se diferencia tanto de la otra (3,30/5 para la C.1 y 3,18/5 para C.2). La diferencia principal entre las dos alternativas reside en el componente financiero ya que la C.2 resulta más costosa de C.1.

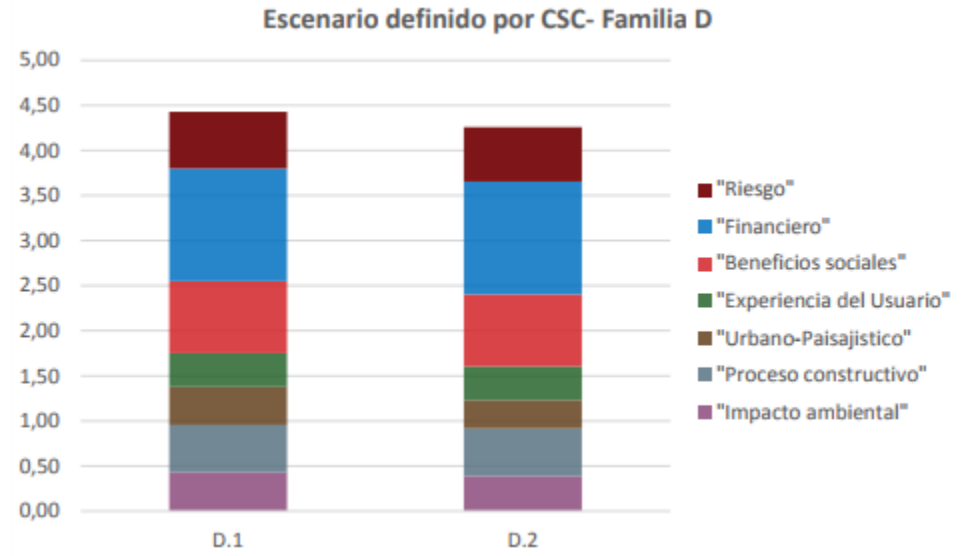


Figura 6.94 Resultados del AMC – Familia D

La familia D cuenta con las alternativas que presentan los mejores resultados: 4,43/5 (alternativa D.1) y 4,26/5 (alternativa D.2).

A continuación se presentan los resultados de todas las alternativas de estudio discriminados por componentes.

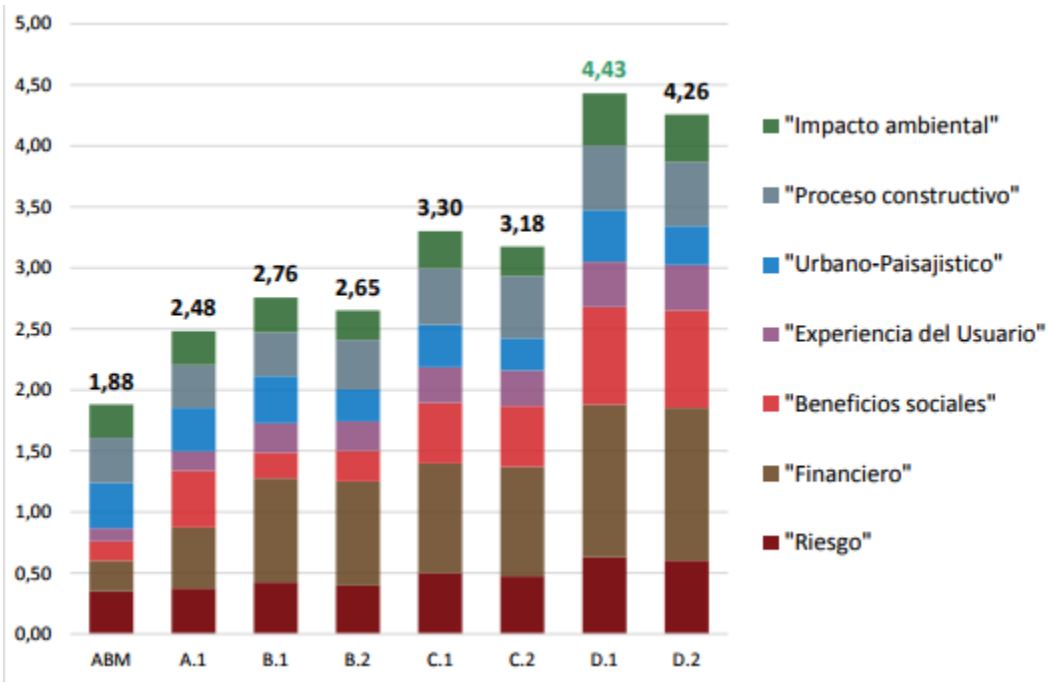


Figura 6.95 Resultados del AMC – Resultado final global según escenario definido por CSC – Fuente: SYSTRA

Componente	Familia A		Familia B		Familia C		Familia D	
	ABM	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
"Impacto ambiental"	0,27	0,28	0,28	0,24	0,30	0,24	0,43	0,39
"Proceso constructivo"	0,37	0,35	0,36	0,41	0,46	0,51	0,53	0,53
"Urbano-Paisajistico"	0,37	0,36	0,39	0,26	0,35	0,26	0,42	0,32
"Experiencia del Usuario"	0,11	0,16	0,24	0,24	0,29	0,29	0,37	0,37
"Beneficios sociales"	0,160	0,465	0,211	0,252	0,497	0,497	0,800	0,800
"Financiero"	0,25	0,50	0,85	0,85	0,90	0,90	1,25	1,25
"Riesgo"	0,35	0,37	0,42	0,40	0,50	0,47	0,63	0,60
TOTAL	**1,88**	**2,48**	**2,76**	**2,65**	**3,30**	**3,18**	**4,43**	**4,26**

Figura 6.96 Resultado final global del análisis multicriterio según escenario definido por CSC – Fuente: SYSTRA

De manera general, las alternativas de la familia D aparecen más eficientes que las otras. Esto se explica principalmente por el hecho de que no sólo el componente financiero sea más ventajoso sino también los beneficios sociales más importantes en términos de volúmenes de pasajeros, de facilidad de conexión entre modos y ahorros de tiempo.

Especialmente, es la Alternativa D.1 la que obtiene la mayor nota (4,43) por tanto es la retenida para desarrollarla en la Actividad 3.

6.10 CONCLUSIONES

De lo observado, la alternativa para desarrollar la PLMB con mejor calificación teniendo en cuenta los diferentes criterios es la **alternativa D.1**, con una infraestructura integralmente aérea. De hecho, las alternativas que tienen en su trazado la mayor parte en infraestructura subterránea resultan menos pertinentes en la evaluación por su impacto ambiental, social, proceso constructivo y su rentabilidad financiera.

Por otro lado, en términos de riesgos y de atractivo de la línea de metro, las alternativas en viaducto presentan de nuevo los mejores resultados. Esto sigue justificando la elección de una línea cuyo proceso constructivo y trazado se base en las características de las alternativas de la familia D.

Específicamente, los resultados demuestran que:

- Trazado y demanda de transporte: la variación del trazado de la PLMB desde las carreras 10ª, 13 y 11 en el corredor oriental de la ciudad hacia un trazado a lo largo de la Av. Caracas y posteriormente a lo largo de la Autonorte hasta la Calle 127, tiene como consecuencia una mayor atractividad de la línea para los usuarios de transporte público:

  - Con la alternativa D.1 se están transportando 25 940 pasajeros adicionales al día o 7 782 000 pasajeros al año cuando se compara con el desempeño del trazado de la alternativa Base Modificada
  - En la alternativa D.1 los usuarios están ahorrando 1 833 horas en la hora pico en relación con lo que ahorrarían con la alternativa Base Modificada. Esto representa un volumen de 5 498 400 horas al año ó 687 300 jornadas laborables que los usuarios del sistema de transporte público podrán utilizar en vez de pasar su tiempo en el sistema de transporte configurado con el trazado original de la alternativa Base Modificada

- Trazado y posibilidad de expansión de la PLMB: debido a que la cuenca urbana con mayor posibilidad de incremento poblacional en Bogotá se encuentra al norte de la ciudad y su eje de movilidad es la AutoNorte, la posibilidad de prolongación del trazado hacia el norte a partir de la Calle 127 es mucho más factible con la implantación de la alternativa D.1.
- Tipo de infraestructura: para la infraestructura de viaducto se ha demostrado contundentemente que desde el punto de vista de costos, tiempos y riesgos de construcción es la solución idónea para la ciudad en comparación con la infraestructura subterránea. Para los componentes de obra civil en línea más las estaciones, el costo en la infraestructura subterránea de la alternativa base Modificada es un 44% más alto por kilómetro que en la infraestructura elevada de la alternativa D.1 (38,62 millones USD versus US 69,19 millones USD). Estos costos no incluyen las instalaciones ferroviarias y electromecánicas, que resultan similares en ambas infraestructuras.

  Los ritmos de construcción, considerando la metodología de prefabricación para el viaducto, resultan menores que en solución subterránea. Para una ciudad como Bogotá, mientras en el viaducto se pueden alcanzar ritmos de 0,65 km/mes, en túnel el ritmo de construcción sería de 0,41 km/mes.

  A los costos estimados y los rendimientos de construcción se asocian los costos finales de construcción y de cumplimiento del cronograma estimado, que son sustancialmente

superiores para la infraestructura subterránea. En el contexto internacional se ha observado que los costos finales de construcción para una infraestructura subterránea (túnel y trinchera (*cut and cover*)) pueden llegar al 45-50% por encima de los inicialmente estimados mientras que los de un viaducto solamente al 20%[23].

Finalmente, la **Alternativa D.1** escogida es la que presenta los mayores impactos evaluados desde el punto de vista urbano-paisajístico. Por tal motivo, el desarrollo de esta infraestructura deberá tener en consideración la mitigación de este impacto en su implantación:

- Las estaciones deberán ser infraestructuras lo más ligeras posible para mitigar el impacto visual y proporcionar las condiciones para el desarrollo inmobiliario alrededor de ellas
- El viaducto deberá poseer características físicas que mitiguen el impacto visual de esa infraestructura y que posibiliten la llegada de la luz y el sol a nivel del suelo

Estas premisas se desarrollan en la siguiente actividad y se presentan resultados en el Entregable N° 4, Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada.

[23] Ver sección 4.4.7, criterio riesgo financiero

6.11 ANEXOS

6.11.1 Trazado Geométrico para cada alternativa

6.11.2 Estimación de la generación de escombros para cada alternativa

6.11.3 Estimación de afectación arbórea para cada alternativa

6.11.4 Estimación de la generación de ruido por la operación y la construcción del sistema para cada alternativa

6.11.5 Estimación de la generación de vibraciones por la operación y la construcción del sistema para cada alternativa

6.11.6 Cartografía del análisis del impacto de las obras sobre la operación de las troncales del Transmilenio

6.11.7 Cartografía del análisis potencial de desarrollo inmobiliario para cada alternativa

6.11.8 Cartografía de análisis del potencial de recuperación de zonas deprimidas para cada alternativa

6.11.9 Cartografía de análisis de la afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico para cada alternativa

6.11.10 Secciones Transversales Típicas para el análisis del impacto visual

6.11.11 Base de Datos de crímenes en el sistema de metro de New York

6.11.12 Estimaciones de costos de inversión por alternativa

6.11.13 Identificación de predios impactados por el trazado de cada alternativa