

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



Versión Final

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



***Entregable 5,
Beneficios económicos de opciones de inversión frente al
trazado original***

PLMB-SYS-DOC-TOD-0500-0B

21 de Noviembre de 2016

SYSTRA

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

INDICE

Cliente	Financiera de Desarrollo Nacional (FDN)
Proyecto	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
Tipo de documento	Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original – Versión Final
Fecha	21/11/2016
Nombre del archivo	PLMB-SYS-DOC-TOD-0500-0B-v5
Revisión	Rev.0
Privacidad	Entrega
Lengua	Español
Número de páginas	93

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

EDICIÓN

Versión	FECHA	OBJETIVO
0A	26/09/2016	Primera edición
0B	04/11/2016	Primera edición
0B	17/11/2016	Segunda edición
0B	21/11/2016	Tercera edición

CONTROL

Versión 0A		
Autor :	Guillemette ZUBER María Paula GONZALEZ Luisa ROZO Ignacio GALASO Camilo SANTAMARIA Juan Pablo BRAVO	26/09/2016
Verificado por :	Pauline ROBERT ETCHETO Natalia LAURENS	26/09/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	04/10/2016
Versión 0B		
Autor :	Guillemette ZUBER Luisa ROZO Ignacio GALASO Camilo SANTAMARIA	03/11/2016
Verificado por :	Natalia LAURENS Pauline ROBERT ETCHETO Boris ROWENCZYN	03/11/2016, primera edición 17/11/2016, segunda edición
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	26/09/2016 (primera edición) 17/11/2016 (segunda edición) 21/11/2016 (Tercera edición)

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

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	10
1.1	OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD	10
1.2	CONTENIDO DEL INFORME	10
1.3	CONTEXTO DE LA ACTIVIDAD	11
2.	PROCESO DE IDENTIFICACION DE NODOS DE TERMINACION Y CANASTAS	14
2.1	MARCO METODOLÓGICO	14
2.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS NODOS DE TERMINACIÓN Y TRANSFERENCIAS CON SISTEMA TRANSMILENIO	16
2.3	ELABORACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DE LAS OPCIONES DE CANASTAS SEGÚN NODO DE TERMINACIÓN	17
2.4	CONFIGURACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TRANSPORTE DE LAS CANASTAS DE INVERSIÓN CON TRONCALES ALIMENTADORAS	19
2.5	RESUMEN DE COSTOS DE LAS TRONCALES ALIMENTADORAS DE LA PLMB POR CADA CANASTA DE INVERSIÓN	26
3.	PROCESO DE COMPARACION DE LAS CANASTAS DE INVERSION	27
3.1	CONTEXTO	27
3.1	CRITERIO DE CALIDAD DEL SERVICIO DE TRANSPORTE EN CADA CANASTA	27
3.1.1	VIAJES CON ORIGEN Y DESTINO EN CADA NODO DE TERMINACIÓN	28
3.1.2	NIVEL DE SERVICIO EN LA TRONCAL DE TRANSMILENIO MÁS CARGADA	29
3.2	DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN CADA CANASTA	31
3.2.1	AHORROS GLOBALES EN TIEMPO DE VIAJE PARA LOS USUARIOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	31
3.2.2	COSTO OPERACIONAL POR PASAJERO DEL TRANSPORTE PÚBLICO	32
3.3	IMPACTO URBANO DEL NODO DE TERMINACIÓN DE CADA CANASTA	33
3.3.1	NODO CALLE 26	33
3.3.2	NODO CALLE 63	34
3.3.3	NODO CALLE 72	35
3.3.4	NODO CALLE 100	36
3.3.5	NODO CALLE 127	37
3.4	CONECTIVIDAD DE LA LÍNEA EN EL NODO DE TERMINACIÓN	40
3.5	MATRIZ DE COMPARACIÓN DE LAS CANASTAS DE INVERSIÓN	44

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

4.	MODELACIÓN LA OPTIMIZACION DEL NUMERO Y POSICION DE ESTACIONES PARA LA PLMB EN LA CANASTA SELECCIONADA	46
4.1	ESCENARIOS MODELADOS	46
4.2	RESULTADOS ESCENARIOS MODELADOS – HORA PICO	47
5.	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA CANASTA DE INVERSIÓN SELECCIONADA FRENTE AL TRAZADO ORIGINAL	50
5.1	DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA Y DE LOS INDICADORES UTILIZADOS	50
5.1.1	PRINCIPIOS GENERALES	50
5.1.2	PRINCIPALES INDICADORES	51
5.1.3	¿CUÁL PROYECTO EVALUAR Y POR QUÉ?	52
5.2	TIPO DE EVALUACIÓN	56
5.3	ELEMENTOS CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN	57
5.4	HIPÓTESIS GENERALES PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	58
5.4.1	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	58
5.4.2	PERIODO DE EVALUACIÓN	58
5.4.3	TASA DE DESCUENTO SOCIOECONÓMICA	58
5.4.4	HIPÓTESIS SOBRE LA DEMANDA DE TRANSPORTE	59
5.4.5	HIPÓTESIS MACROECONÓMICAS	60
5.4.6	COSTOS DE INVERSIÓN	61
5.4.7	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	65
5.4.8	BENEFICIOS PARA LOS USUARIOS	66
5.4.9	REDUCCIÓN DE LA ACCIDENTALIDAD	67
5.5	BENEFICIOS MEDIO-AMBIENTALES	68
5.5.1	REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA LOCAL	68
5.5.2	REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	69
5.5.3	REDUCCIÓN DEL RUIDO	70
5.6	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	70
5.6.1	TASA INTERNA DE RETORNO Y VALOR PRESENTE NETO	70
5.6.2	VARIACIONES DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE	72
5.6.3	COSTOS Y BENEFICIOS DETALLADOS EN CADA ESCENARIO	73
6.	ANEXOS	76
6.1	ANEXO 1: CARTOGRAFÍA DE ANÁLISIS DE INSERCIÓN URBANA EN LOS NODOS DE TERMINACIÓN	76
6.2	ANEXO 2: SECCIONES TRANSVERSALES UTILIZADAS EN LA EVALUACIÓN DE LA INSERCIÓN URBANA DE LA ESTACIÓN EN LOS NODOS DE TERMINACIÓN	82
6.3	ANEXO 3: COSTOS DE INVERSIÓN DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA CALLE 100	88
6.4	ANEXO 4: COSTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA METRO SEGÚN INFRAESTRUCTURAS SUBTERRÁNEA, ELEVADA Y ELEVADO CON Y SIN CONDUCTORES	89

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

6.5	ANEXO 5: ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	90
6.6	ANEXO 6: ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA CONTAMINACIÓN SÓNICA (RUIDO)	92

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

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 - SINTESIS DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA ALTERNATIVAS ESTUDIADAS EN LA ACTIVIDAD 2	11
TABLA 2 - ESTACIONES DE LA ALTERNATIVA D.1 SELECCIONADA	13
TABLA 3 - INDICADORES PROPUESTOS PARA LA ESTIMACION DE COSTOS DE INVERSION DE METRO ELEVADO – FUENTE: SYSTRA	17
TABLA 4 - COSTO DE INVERSION DEL TRAMO 1 SEGUN OPCIONES DE NODO DE TERMINACION – FUENTE: SYSTRA.....	19
TABLA 5 - DEFINICION DE LAS TRONCALES DE LAS CANASTAS DE INVERSION – FUENTE: SYSTRA Y SDM.....	20
TABLA 6 - PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE TRANSPORTE CANASTA A CALLE 26 AL HORIZONTE 2030 (FUENTE: SDM)	21
TABLA 7 - PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE TRANSPORTE CANASTA B CALLE 63 AL HORIZONTE 2030 (FUENTE: SDM)	22
TABLA 8 - PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE TRANSPORTE CANASTA C CALLE 72 AL HORIZONTE 2030 (FUENTE: SDM)	23
TABLA 9 - PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE TRANSPORTE CANASTA D CALLE 100 AL HORIZONTE 2030 (FUENTE: SDM)	24
TABLA 10 - PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE TRANSPORTE CANASTA E CALLE 127 AL HORIZONTE 2030 (FUENTE: SDM)	25
TABLA 11 - CARACTERISTICAS DE LOS MOVIMIENTOS DE TRANSPORTE EN CADA NODO DE TERMINACION, HP HORIZONTE 2030 (FUENTE: SDM)	28
TABLA 12 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “VIAJES CON O/D EN NODO DE TERMINACION” – FUENTE: SYSTRA Y SDM.....	29
TABLA 13 - DESEMPEÑO DE CALIDAD DE SERVICIO EN CADA NODO DE TERMINACION – FUENTE: SYSTRA Y SDM 30	
TABLA 14 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “NIVEL DE SERVICIO EN LA TRONCAL TM MAS CARGADA” – FUENTE: SYSTRA.....	30
TABLA 15 - DESEMPEÑO GLOBAL DE TRANSPORTE EN CADA CANASTA DE INVERSION (FUENTE: SDM)	31
TABLA 16 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “AHORROS GLOBALES EN TIEMPO DE VIAJE POR CANASTA” – FUENTE: SYSTRA.....	31
TABLA 17 - COSTOS DE EXPLOTACION POR PASAJERO EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO (FUENTE: SYSTRA) 32	
TABLA 18 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “COSTOS OPERACIONALES POR PASAJERO” – FUENTE: SYSTRA	33
TABLA 19 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “POTENCIAL INMOBILIARIO” – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP	38
TABLA 20 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “POTENCIAL DESARROLLO ESPACIO PUBLICO” – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP.....	39
TABLA 21 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “POTENCIAL ZONAS RENOVACION” – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP	39
TABLA 22 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “IMPACTO VISUAL” – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP	39
TABLA 23 – NUMERO DE ESTACIONES DE TM IDENTIFICADAS (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	40
TABLA 24 – VIAS PRINCIPALES ANALIZADAS (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	40
TABLA 25 – IDENTIFICACION DE ESTACIONES Y VIAS PRINCIPALES EN NODOS DE TERMINACION (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP).....	40

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

TABLA 26 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “CERCANIA TRONCALES TM” – FUENTE: SYSTRA-SIGMA.....	43
TABLA 27 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL INDICADOR “CERCANIA VIAS PRINCIPALES” – FUENTE: SYSTRA-SIGMA.....	43
TABLA 28 - RESULTADOS CUANTITATIVOS DEL PROCESO DE EVALUACION DE LOS INDICADORES POR OPCION DE CANASTA (FUENTE: SYSTRA)	44
TABLA 29 - DESCRIPCION DE ESCENARIOS MODELADOS (FUENTE: SDM).....	47
TABLA 30 - RESULTADOS ESCENARIOS MODELADOS (FUENTE: SDM).....	47
TABLA 31 - ASCENSOS Y DESCENSOS POR ESTACION SEGUN ESCENARIO (FUENTE: SDM).....	48
TABLA 32 - RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE 4 ETAPAS PARA EL ESCENARIO LINEA ELEVADA CALLE 72 – FUENTE: SDM.	54
TABLA 33 - RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DE 4 ETAPAS PARA EL ESCENARIO LINEA SUBTERRANEA CALLE 100– FUENTE: SDM.....	56
TABLA 34 - TASAS SOCIAL DE DESCUENTO (TSD) VIGENTES EN LATINOAMERICA – FUENTE: SYSTRA.....	59
TABLA 35 - HIPOTESIS MACRO-ECONOMICAS EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2014-2021 - FUENTE: FMI..	60
TABLA 36 - EVOLUCION DEL PIB PARA EL PERIODO 2022-2070 (FUENTE: PWC, ELABORACION: SYSTRA)	61
TABLA 37 - EVOLUCION DE LA POBLACION PARA EL PERIODO 2022-2055 (FUENTE: NACIONES UNIDAS, ELABORACION: SYSTRA)	61
TABLA 38 - TASAS DE CAMBIO UTILIZADAS COMO REFERENCIA EN LA EVALUACION	61
TABLA 39 - DETALLE DE LOS COSTOS DE INVERSION POR CANASTA, PRECIOS DE MERCADO EN MILLONES DE PESOS CORRIENTES 2016, SIN A.I.U. - FUENTE: ESTIMACIONES SYSTRA	62
TABLA 40 - RAZONES DE PRECIO DE CUENTA UTILIZADAS EN EL COMPONENTE INVERSIONES FERROVIARIAS - FUENTE: METRO DE CARACAS, MANUAL DE SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS DEL SISTEMA NACIONAL DE INVERSION PUBLICA, CORDIPLAN (2005) Y EVALUACION EXPOST, SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO DE BOGOTA (2009)	63
TABLA 41 - RESUMEN DE LOS COSTOS DE INVERSION SOCIALES USADOS EN EL ANALISIS ECONOMICO - ELABORACION: SYSTRA.	63
TABLA 42 - HIPOTESIS SOBRE LA DISTRIBUCION DE LA INVERSION INICIAL - ELABORACION: SYSTRA.....	64
TABLA 43 - VIDA UTIL POR PARTIDA DE GASTO - ELABORACION: SYSTRA	64
TABLA 44 - COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO (SIN MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA) PARA LOS TRANSPORTES PUBLICOS EN BOGOTA - ELABORACION: SYSTRA	66
TABLA 45 - VALORES TUTELARES DE LA INSEGURIDAD PARA BOGOTA EN PESOS 2008, 2014 Y 2016 - FUENTE: EVALUACION EX-POST DEL TRANSMILENIO, ELABORACION: SYSTRA.....	67
TABLA 46 - HIPOTESIS SOBRE EL NUMERO DE DAÑOS PER VIAJE - FUENTE: REPORTE ANUAL DE LA MOVILIDAD DE BOGOTA EN 2014, ELABORACION: SYSTRA.....	68
TABLA 47 - HIPOTESIS DE PRECIO ASOCIADO A LA CANTIDAD DE CONTAMINANTE EMITIDA POR TIPO DE VEHICULO EN COLOMBIA -FUENTE: VALORES DE REFERENCIA EN FRANCIA, ELABORACION: SYSTRA.	68
TABLA 48 - HIPOTESIS SOBRE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (FUENTE: METODOLOGIA COPERT Y VALORES DE REFERENCIA EN FRANCIA, ELABORACION: SYSTRA)	69
TABLA 49 - HIPOTESIS DE PRECIO ASOCIADO AL RUIDO EMITIDO POR TIPO DE VEHICULO EN COLOMBIA (FUENTE: VALORES DE REFERENCIA EN FRANCIA, ELABORACION: SYSTRA).....	70
TABLA 50 - PRINCIPALES INDICADORES Y RESULTADOS DEL ANALISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS PARA LA CANASTA CALLE 72 Y LA ALTERNATIVA DE REFERENCIA EN PRECIOS CONSTANTES DE 2014 Y 2016 - ELABORACION: SYSTRA.	70
TABLA 51 - COSTOS DE INVERSION DEL ESCENARIO LINEA SUBTERRANEA CALLE 100– FUENTE: SYSTRA-SIGMA	88
TABLA 52 - ANEXO: COSTOS DE OPERACION DEL SISTEMA METRO SEGUN CARACTERISTICAS DE INFRAESTRUCTURA ELEVADA O SUBTERRANEA Y SEGUN UTILIZACION O NO DE CONDUCTORES– FUENTE: SYSTRA	89

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

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 : TRAZADO DE LA ALTERNATIVA D.1 SELECCIONADA (FUENTE: SYSTRA)	12
FIGURA 2 : FLUJOGRAMA METODOLOGICO PARA IDENTIFICACION DE NODOS DE TERMINACION PLMB Y TRONCALES TM ASOCIADAS (FUENTE: SYSTRA).....	14
FIGURA 3 : OFERTA DE TRANSPORTE DE LA CANASTA DE INVERSION A, CALLE 26 (FUENTE: SDM)	21
FIGURA 4 : CANASTA DE INVERSION B, HASTA NODO DE TERMINACION CALLE 63 (FUENTE: SDM)	22
FIGURA 5 : CANASTA DE INVERSION C, HASTA NODO DE TERMINACION CALLE 72 (FUENTE: SDM)	23
FIGURA 6 : CANASTA DE INVERSION D, HASTA NODO DE TERMINACION CALLE 100 (FUENTE: SDM).....	24
FIGURA 7 : CANASTA DE INVERSION E, HASTA NODO DE TERMINACION CALLE 127 (FUENTE: SDM)	25
FIGURA 8 : DISTRIBUCION DE MOVIMIENTOS POR CADA NODO DE TERMINACION, HORIZONTE 2050 (FUENTE: SDM).....	29
FIGURA 9 : DIAGRAMA DE AFLUENCIA DE PASAJEROS POR ESTACION ALTERNATIVA D.1, HORIZONTE 2050 (FUENTE: SDM)	30
FIGURA 10 : CARACTERIZACION URBANA NODO DE TERMINACION CALLE 26 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	34
FIGURA 11 : CARACTERIZACION URBANA NODO DE TERMINACION CALLE 63 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	35
FIGURA 12 : CARACTERIZACION URBANA NODO DE TERMINACION CALLE 72 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	36
FIGURA 13 : CARACTERIZACION URBANA NODO DE TERMINACION CALLE 100 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP) ...	37
FIGURA 14 : CARACTERIZACION URBANA NODO DE TERMINACION CALLE 127 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP) ...	38
FIGURA 15 : CONECTIVIDAD NODO DE TERMINACION CALLE 26 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	41
FIGURA 16 : CONECTIVIDAD NODO DE TERMINACION CALLE 63 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	41
FIGURA 17 : CONECTIVIDAD NODO DE TERMINACION CALLE 72 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	42
FIGURA 18 : CONECTIVIDAD NODO DE TERMINACION CALLE 100 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	42
FIGURA 19 : CONECTIVIDAD NODO DE TERMINACION CALLE 127 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	43
FIGURA 20 : DIAGRAMA DE CARGA DE LA PLMB EN EL HORIZONTE DE LARGO PLAZO 2050 (FUENTE: SDM).....	49
FIGURA 21 : TRAZADO DEL ESCENARIO LINEA ELEVADA CALLE 72 (FUENTE: SYSTRA).....	53
FIGURA 22 : TRAZADO DEL ESCENARIO LINEA SUBTERRANEA CALLE 100 (FUENTE: SYSTRA).....	55
FIGURA 23 : VALOR PRESENTE NETO DE LA COMPARACION EN PESOS CONSTANTES 2014 Y 2016 (FUENTE: SYSTRA)	71
FIGURA 24 : TASA INTERNA DE RETORNO EN LA COMPARACION (FUENTE: SYSTRA)	72
FIGURA 25 : VARIACIONES DE VEHICULOS*KILOMETROS POR MODO EN 2020 (FUENTE: SDM).....	72
FIGURA 26 : COSTOS Y BENEFICIOS DETALLADOS EN LA COMPARACION EN PESOS CONSTANTES DE 2014 Y 2016 (FUENTE: SYSTRA).....	73
FIGURA 27 : VARIACION DE LOS COSTOS DE OPERACION EN LA COMPARACION CON EL ESCENARIO SIN PROYECTO EN PESOS CONSTANTES DE 2014 Y 2016 (FUENTE: SYSTRA)	74

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

1. INTRODUCCION

1.1 Objetivos de la actividad

El presente informe se encuadra dentro de los entregables finales de la Actividad 4, “Análisis sobre beneficios económicos de las opciones de inversión en el primer tramo del metro y otras inversiones en troncales de TransMilenio nuevas y/o existentes frente al trazado original de la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB)”.

Adicionalmente, este informe contiene actividades relativas al análisis e identificación de las opciones para el nodo de terminación del Tramo 1 de la PLMB que estaban previstas ser desarrolladas en la Actividad 2, “Estudio de alternativas para optimizar el diseño de la PLMB”, pero que solamente pudieron ser desarrolladas una vez seleccionada la alternativa de trazado y configuración de infraestructura. La identificación y escogencia del nodo de terminación del Tramo 1 está intrínsecamente asociado al desarrollo de una red de nuevas troncales de TransMilenio para alimentar al metro según el saldo del presupuesto disponible una vez descontado el costo de inversión de este mismo Tramo 1, lo que se ha denominado “canasta” de inversiones.

Por tanto, el objetivo principal de este análisis es identificar la mejor utilización del presupuesto asignado, comparando diferentes longitudes para el primer tramo de la línea elevada, estaciones, troncales integradas y de alimentación. Para lograr este objetivo, en esta actividad se han desarrollado las siguientes tareas específicas:

- Evaluación multicriterio para la definición del nodo de terminación
- Ajuste al número y ubicación de estaciones para determinar la mejor atractividad de la línea para los usuarios
- Evaluación socioeconómica de la PLMB (elevada) frente a la PLMB original (subterránea)

1.2 Contenido del informe

Este informe presenta primeramente el contexto del proyecto y un resumen de la alternativa seleccionada en la Actividad 2.

Posteriormente se presenta el proceso metodológico de identificación de los nodos de terminación y canastas de inversión en troncales de TransMilenio a partir de los resultados de las simulaciones del modelo de transporte elaborado por la SDM.

Igualmente, se presenta una estimación del costo de inversión del Tramo 1 según nodo de terminación del mismo para cuantificar específicamente el saldo disponible para las inversiones en troncales.

Consecuentemente, se procede al proceso de comparación de las canastas de inversión mediante la cuantificación de criterios similares a los analizados en la Actividad 2, además de los propios de la línea de metro referidos a la calidad del servicio propuesto.

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

Finalmente, la opción de canasta seleccionada se evalúa desde el punto de vista socioeconómico comparándola con el proyecto aprobado en 2015 por el gobierno nacional, es decir una línea subterránea hasta la Calle 100.

1.3 Contexto de la actividad

En las actividades precedentes, Actividad 2 y 3, se han estudiado, evaluado y comparado las alternativas de proyecto que más optimizan el diseño de la PLMB teniendo en cuenta nuevas troncales de TransMilenio, tanto desde un punto de vista social como económico. Las alternativas fueron analizadas con un nivel de definición técnico de pre-factibilidad. Los escenarios de cada alternativa combinaron los distintos parámetros:

- Un trazado, compatible con los corredores identificados y con la pre-factibilidad técnica analizada;
- Un tipo de inserción con una parte del trazado elevada más o menos extensa y en algunas alternativas también con otra parte del trazado subterránea;
- Número y ubicación preliminar de estaciones.

De la combinación de los distintos parámetros expuestos previamente resultaron ocho escenarios.

Familias Modulación	Alternativas para Multicriterio	Características								
		Tipo de infraestructura		Longitud de la línea				N° estaciones		
		Tramo 1	Tramo 2	MI túnel TBM	MI túnel trinchera	MI viaducto	MI Total	Elevada	Subterr.	Total
A	Alt. Base modificada	Subterr.	Subterr.	23 570,0	3 488,0	0,0	27 058,0	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

Tabla 1 - Síntesis de las principales características de las alternativas estudiadas en la Actividad 2

Las alternativas fueron construidas con base en el trazado base de la línea 100% subterránea presentado como la Alternativa Base Modificada y luego comparadas entre sí. La comparación de los diferentes escenarios se realizó teniendo en cuenta una serie de indicadores como la demanda de pasajeros, aspectos territoriales y urbanos, aspectos económicos, etc. Tras la valoración y

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

cuantificación de los diferentes indicadores de la matriz multicriterio, el escenario mejor notado es la Alternativa D.1.

El trazado de la Alternativa D.1 es similar al del proyecto original desarrollado por el Consorcio CL1 entre la estación terminal Portal Américas y la Avenida Caracas. A partir de la intersección de la Calle 1 con Avenida Caracas, el trazado de la alternativa seleccionada sigue por el eje de la Caracas y de la Autopista Norte hasta la Calle 127.

Por tanto, el trazado base para el desarrollo de la Actividad 3, objeto de este informe, se centra en el desarrollo del Tramo 1 de construcción de la PLMB que va desde la estación Portal Américas hasta un nodo de terminación que será definido más adelante según varias opciones.

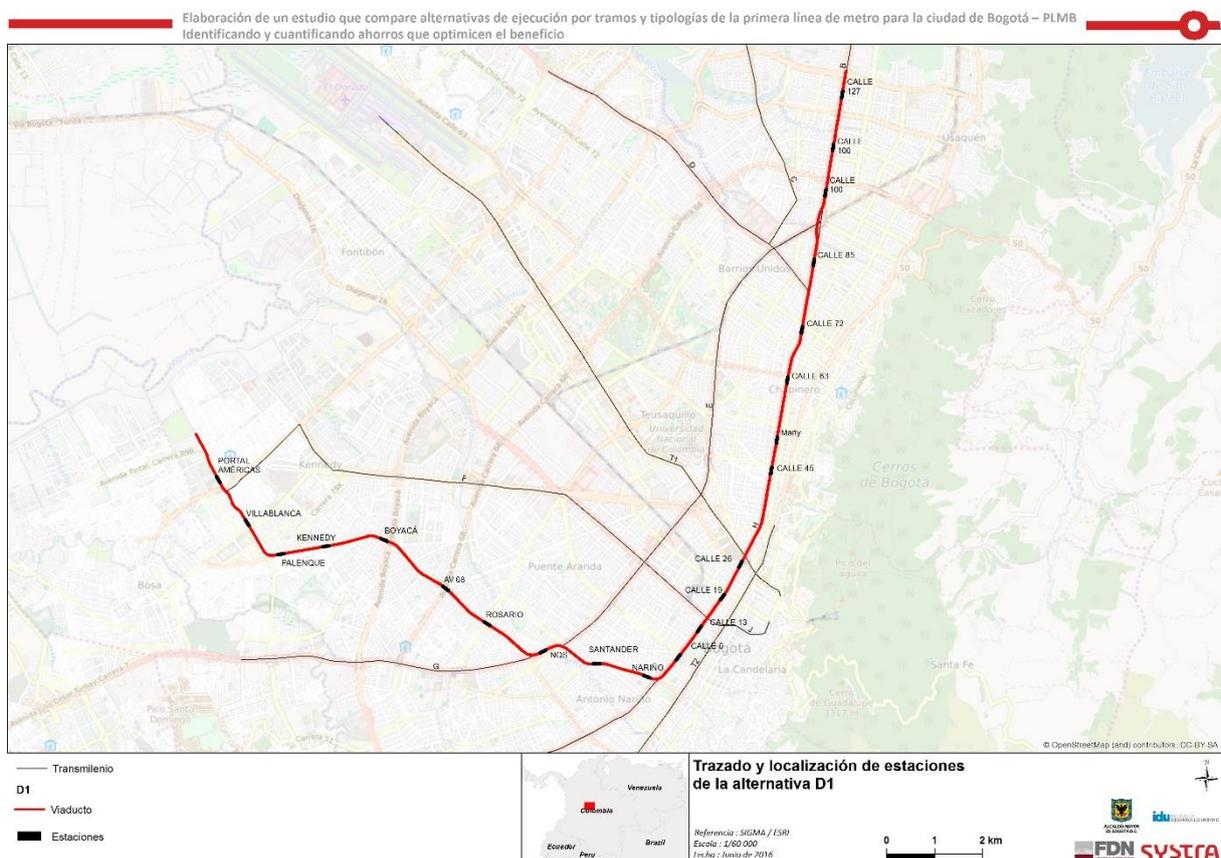


Figura 1 : Trazado de la Alternativa D.1 seleccionada (Fuente: SYSTRA)

El trazado propuesto ha tenido en cuenta una posible futura extensión de la PLMB hacia el norte. Por consiguiente, si se decidiese prolongar el trazado desde la estación Calle 127, el trazado de terminación propuesto será completamente compatible con el trazado analizado en las actividades 2 y 3. El patio-taller de la línea de metro se prevé a 5 km al Oeste de la estación Portal de las Américas. Esta parte del trazado no se ha desarrollado en esta consultoría.

A lo largo del trazado se analizó la implantación de 22 estaciones, de las cuales la mayor parte son de tipo intermodal, por tener conexión con el sistema TransMilenio. Sin embargo, este número de

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

estaciones será posteriormente optimizado con un estudio adicional de demanda de transporte. Las estaciones Calle 3-4, Calle 19 y Calle 53 son candidatas a ser suprimidas.

Tramo 1				Tramo 2
Subtramo Sur		Subtramo Av. Caracas		Subtramo Autonorte
Portal Américas	Av. 68	Calle 3-4 (*)	Calle 45	Calle 85
Villablanca	Rosario	Calle 10-11 (*)	Calle 53	Calle 100
Palenque	NQS	Calle 19 (*)	Calle 63	Calle 106
Kennedy	Santander	Calle 26	Calle 72	Calle 127
Av. Boyacá	Calle 1/Av. Caracas			

Tabla 2 - Estaciones de la Alternativa D.1 seleccionada

2. PROCESO DE IDENTIFICACION DE NODOS DE TERMINACION Y CANASTAS

Se entiende como nodo de terminación el punto de corte para la implantación del Tramo 1 de la PLMB. Se entiende como “canasta” una red de transporte integrada que incluye el Tramo 1 de la PLMB y las troncales complementarias a la misma. El objetivo es definir las opciones de nodos de terminación del metro y las troncales asociadas, que optimicen los resultados de transporte.

2.1 Marco metodológico

El proceso de identificación de los nodos de terminación para el primer tramo de la línea de metro y de la composición del paquete de inversión definido por el primer tramo de la PLMB más un conjunto de troncales de TransMilenio fue producto de un trabajo elaborado por miembros del equipo técnico del CSC (SDM, EMB e IDU) y del Consultor.

La siguiente figura presenta esquemáticamente el proceso seguido para verificar cuáles serían los paquetes de inversión (o “canastas”) con mayor beneficio a la población y que estuviesen dentro del presupuesto disponible y estimado en 12,82 billones COP (actualizados al 2016).

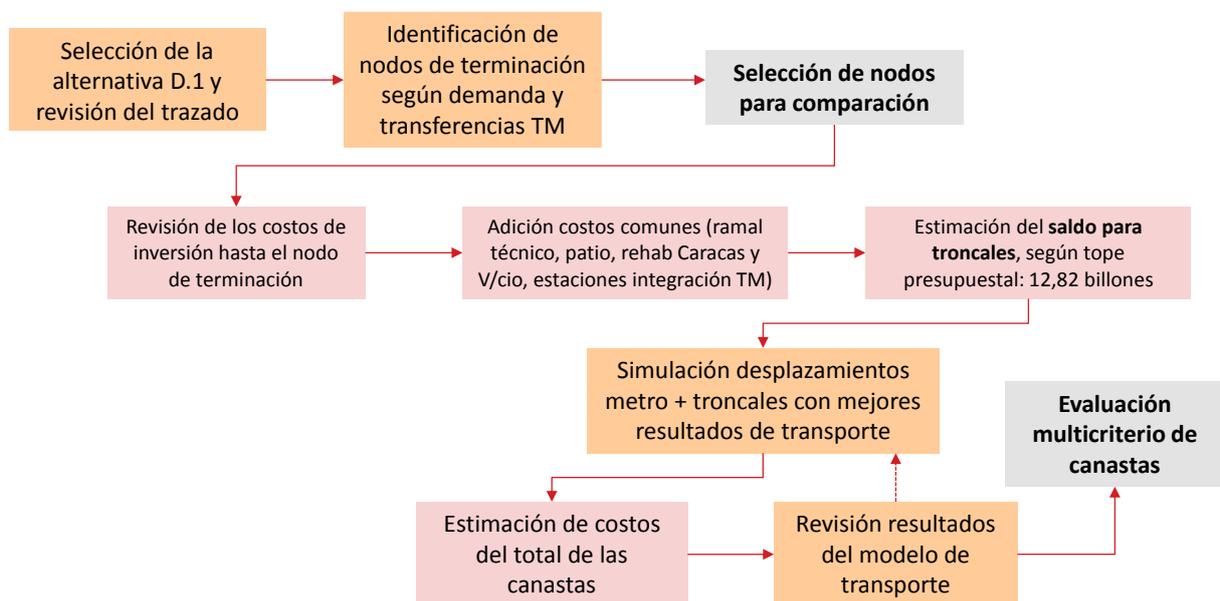


Figura 2 : Flujograma metodológico para identificación de nodos de terminación PLMB y troncales TM asociadas

A partir de la definición de la Alternativa D.1 que en términos de trazado e infraestructura resultó ser la más favorable para la ciudad (realizada dentro del análisis multicriterio de la Actividad 2, Entregable N° 3), se verificó en que puntos podría hacerse el corte para la implantación del primer tramo con base en criterios de demanda y de las posibilidades de transferencias con el sistema de troncales de TransMilenio.

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

Inicialmente se trabajó el concepto de considerar solamente corredores de troncales completos, pero se demostró con el proceso iterativo de simulaciones que presenta menores beneficios para la población. En este punto es importante resaltar que las troncales compañeras de cada alternativa de tramo de metro se seleccionaron con criterio de complementariedad y de mayor demanda sobre los corredores donde se insertan, teniendo como restricción que un tramo de troncal solo es viable operativamente si sus extremos terminan en un patio o en otra troncal.

Los cortes de la línea del metro fueron definidos por la intersección con los corredores principales de TransMilenio en el sentido Este-Oeste: Calle 26, Calle 63 (con construcción de troncal TransMilenio previsto mediante la figura de APP a lo largo de la Calle 63); Calle 72 donde se concentra gran demanda (con construcción de troncal TransMilenio que conectará con troncal de la Carrera Séptima por el ramal de la Calle 72), Calle 100 y Calle 127 (hasta donde alcanza la inversión para el metro elevado con el presupuesto disponible de 12,82 billones COP). La estimación de los costos de inversión del Tramo 1 de la PLMB y de las troncales de TransMilenio alimentadoras fueron elaboradas según:

- La revisión de los costos de inversión, empleando los mismos indicadores del componente “financiero” utilizados en el análisis multicriterio desarrollado en la Actividad 2 de la presente consultoría (indicadores de costos por km de viaducto según características del corredor, del sistema ferroviario, del material rodante, del patio-taller y de las estaciones entre otros).
- La adición de los costos comunes referidos al ramal técnico, el final de línea, la reconfiguración de la Av. Caracas y Autopista Norte, la adecuación de la Av. Villavicencio y las estaciones de integración con TransMilenio.
- El cálculo de los costos de inversión de las troncales BRT con base en el costo de troncales por kilómetro de cada troncal según estimaciones del IDU, hasta llegar al tope del saldo restante entre el costo de inversión directo de la PLMB y el presupuesto disponible. La estimación del IDU incluye carriles mixtos y exclusivos, estaciones, espacio público, redes, predios y patios en caso de requerirse.

Los nodos de terminación o cortes de la línea de metro descritos anteriormente, son puntos escalones en la demanda del corredor y, por lo tanto, puntos naturales de quiebre de servicio. Las características de transporte para cada nodo de corte del primer tramo de la línea de metro fueron simuladas con el modelo de transporte de la SDM. Así, mediante un proceso iterativo se fueron componiendo las combinaciones de troncales de TransMilenio que coadyuvaran en el propósito de incrementar los desplazamientos en los sistemas de transporte masivo y de esta manera seleccionar la mejor combinación que optimice los resultados de transporte y que cumpla con la restricción presupuestal.

A pesar de que los resultados de las simulaciones, mirados únicamente desde la perspectiva de generación de ahorros por reducción de tiempos de viaje muestran que los kilómetros ahorrados en la construcción del metro pueden beneficiar más personas por el hecho que se puede construir más kilómetros de BRT, la decisión de la escogencia del nodo de terminación no se debe dar bajo ese solo criterio. En consecuencia, se adelantó una evaluación multicriterio para la determinación del nodo de terminación del Tramo 1 de la PLMB, definiendo criterios propios a la implantación este primer tramo y enfocados principalmente al servicio que se prestará a los usuarios directos del metro.

Finalmente, se evalúa socioeconómicamente al nodo de terminación seleccionado y a la canasta de inversiones que lo acompaña en materia de troncales alimentadoras de TransMilenio tomando

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

comparándolo con el Tramo 1 de línea que fue definido en la anterior administración mediante, el cual comprende una inserción enteramente subterránea desde Portal Américas hasta la Calle 100.

2.2 Identificación de los nodos de terminación y transferencias con sistema TransMilenio

Con base en las condicionantes descritas atrás, se identificaron cinco opciones de nodos de terminación para el Tramo 1 de la PLMB, cuyos puntos de corte se encuentran sobre la Avenida Caracas, ya que es importante llegar con el Tramo 1 al centro ampliado de la ciudad. Según los resultados de un proceso iterativo de simulaciones, la SDM identificó 4 nodos de terminación, aparte del natural en la estación terminal del Tramo 2 en la Calle 127:

- Hasta estación Calle 26
- Hasta estación Calle 63
- Hasta estación Calle 72
- Hasta estación Calle 100
- Hasta Calle 127

El corte en la Calle 26 trae un beneficio mayor para la población en general, pero un volumen importante de transferencias metro-troncales para los usuarios toda vez que una gran parte de la demanda se destina a las zonas más cercanas a la Calle 72 (según patrón de movilidad actual y futuro sobre la Avenida Caracas).

Las simulaciones fueron hechas considerando cambios en la oferta de servicios troncales y del SITP. El diseño de nuevas rutas troncales se realiza de manera estratégica, lo que significa que no se hacen diseños operacionales detallados ni se diseñan rutas expresas. Las conexiones que se ofrecen son las de mayor demanda y la frecuencia se asigna con base en lo que actualmente se encuentra en operación en troncales de demanda máxima similares. La velocidad de las nuevas troncales también se asigna con base en la velocidad resultante de troncales actuales similares teniendo en cuenta servicios corrientes y expresos:

- Frecuencia combinada de las troncales nuevas: 100 buses/h
- Velocidad promedio de las troncales nuevas: 30 km/h

Con relación a las rutas del SITP, se eliminaron aquellos tramos de rutas cuyo trazado se superpusiera en al menos 70% con las nuevas troncales. Los ahorros de tiempos de viaje por la construcción de más transporte masivo pueden ser mayores que los presentados en los resultados. Sin embargo, es una base para comparación entre alternativas. Con los elementos disponibles a partir del proceso de simulaciones se puede comentar:

- La segmentación del metro en la Calle 26 es la que presenta mayor beneficio, según tiempo ahorrado de los usuarios para toda la ciudad, pero no es la mejor para los pasajeros del metro, puesto que hay gran cantidad de ellos con destino más allá de la Calle 26.
- La segmentación en la Calle 63 deja una cantidad de pasajeros que deben transferir por una corta distancia, puesto que la mayor parte de la demanda tiene destino justamente entre las calles 63 y 72.

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

- La segmentación en la Calle 72 permite dar continuidad a los desplazamientos de los usuarios del metro que desembarcarán en gran volumen en esa estación hacia los centros de empleo aledaños.
- La segmentación en la Calle 100 no tiene sentido puesto que deja poco espacio para invertir en corredores de troncales BRT, con un beneficio muy pequeño para la ciudad.

2.3 Elaboración de los costos de inversión de las opciones de canastas según nodo de terminación

A partir de la identificación de las cinco opciones de nodo de terminación se estimaron los respectivos costos de inversión. Para este cálculo se empleó la misma estructura e indicadores propuestos en el análisis multicriterio (ver Entregable N° 3) los cuales se resumen en la tabla a continuación:

COMPONENTE	UNIDAD	INDICADOR PROPUESTO	
		VALOR UNITARIO (COP)	VALOR UNITARIO (USD)
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO			
OBRA CIVIL LÍNEA [1]			
<i>Viaducto Norte</i>	KM	100 800	32,0
<i>Viaducto Sur</i>	KM	78 750	25,0
SISTEMA FERROVIARIO [2]	KM	44 100	14,0
MATERIAL RODANTE	TREN	44 100	14,0
ESTACIONES	UN	50 400	16,0
TALLERES Y COCHERAS	TREN	8 190	2,6
URBANISMO Y PAISAJISMO [3]	KM	12 600	4,0
OBRAS CIVILES ADICIONALES [4]	KM	11 025	3,5
A.I.U.	% sobre costo directo	25%	
OTROS COSTOS			
ESTUDIOS Y DISEÑOS	% sobre costo de obra	4,0%	
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	% sobre costo de obra	2,5%	
DESVÍOS Y MANEJO DE TRÁFICO	% sobre costo de obra	4,0%	
PREDIOS Y LEGALIZACIÓN	Global	Costo estimado	
INTERVENTORÍA FASE DE OBRA	% sobre costo de obra	5,0%	

[1] Ejecución del viaducto que incluye: excavaciones, cimentaciones (pilotes), ejecución de pilas y tablero. Se distinguen dos valores de indicador considerando las características del suelo en la zona norte y sur de la ciudad.

[2] Incluye los siguientes capítulos: puesto central de control, alimentación eléctrica, señalización, sistema de comunicación, superestructura de vía y puertas de andén.

[3] Incluye: espacio público (andenes), carriles mixtos (2 por sentido y pavimento flexible), paisajismo, puentes peatonales, puentes vehiculares.

[4] Se refiere a las obras de estructuras afectadas y reubicación de redes de servicios públicos.

Tabla 3 - Indicadores propuestos para la estimación de costos de inversión de metro elevado – Fuente: SYSTRA

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

Con lo anterior y a partir de las características de las opciones de nodo de terminación se estimó el costo de inversión, cuyos resultados detallados se presentan en la Tabla N° 4 y en el Anexo 1.

Cabe aclarar que en todas las opciones de nodo de terminación se consideró el costo de talleres y cocheras para 44 trenes, dimensionamiento que se realizó para la línea completa futura, según demanda preliminar estimada para 2050. Como es de esperarse y según se observa en la Tabla N° 4, a mayor longitud del tramo de línea, el costo de inversión total es mayor, siendo de 6,99 billones de pesos para el nodo en la Calle 26 y de 11,69 billones para el nodo en la Calle 127. Ahora bien, el costo por kilómetro varía entre 351 y 388 miles de millones considerando la longitud total de la línea incluyendo el ramal técnico y entre 461 y 488 miles de millones por kilómetro cuando se considera solamente la línea entre estaciones terminales. Estas variaciones se deben a las características diferenciadas en cada nodo para el número de trenes, estaciones y al costo estimado de los predios¹.

Al costo directo de la PLMB se le ha incluido el costo del ramal técnico, de la cola de maniobras en el nodo de terminación y de las estaciones de integración con TransMilenio, para lo cual se han considerado los siguientes supuestos:

- Ramal técnico de 5 Km adicionales a la línea (según lo contemplado en el Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio L1). Esta estimación conservadora se debe a que al momento de la consultoría no se tiene definida la ubicación del patio taller.
- La cola de maniobras o final de línea se estima en 600 m adicionales para todas las opciones de nodos de terminación. Está dotada de dos vías con una comunicación cruzada después de la estación y su longitud se calcula en función de la demanda a largo plazo y un intervalo mínimo de 100 segundos, lo cual implica que se deberá tener al momento de iniciar el servicio 5 trenes estacionados y uno en andén. Teniendo en cuenta que la longitud del tren es de 143 metros, 3 posiciones de estacionamiento (dobles) suman 450 metros sin las distancias de seguridad. Se añaden otros 150 metros como distancia de seguridad al final del viaducto.
- Según la demanda estimada y las troncales futuras que las interconectan se consideran las siguientes estaciones de Metro que deberán tener un diseño e infraestructura especial para su integración con TransMilenio: Portal Américas, Av. Boyacá, Av. 68, NQS y todas las estaciones a lo largo de la Av. Caracas.

Adicional a los costos anteriores, se consideran como costos comunes a todas las “canastas” los siguientes:

- Reconfiguración de la troncal Caracas desde la Calle 1 hasta la Calle 80, cuyo costo se considera completo cuando no hay metro y parcial cuando hay metro. Esta adecuación resulta necesaria ante el cambio en la demanda de la troncal y la inclusión de un nuevo modo de transporte masivo que implica un cambio en la sección transversal de la vía.
- Igualmente, para los nodos de las Calles 100 y 127, se considera la adecuación de la troncal de la Autopista Norte desde la Calle 80 hasta el nodo de terminación respectivo, siendo su valor parcial, ya que se tiene contemplada una adecuación urbana en el costo del Metro.

¹ Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano IDU, septiembre de 2016

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

- Adecuación de la Av. Villavicencio en 2,5 Km por la implementación del ramal técnico que lleva al patio de maniobras.

ITEM	Canasta A Calle 26	Canasta B Calle 63	Canasta C Calle 72	Canasta D Calle 100	Canasta E Calle 127
Longitud de la línea comercial entre estaciones terminales (km)	14,3	18,4	19,5	22,4	24,5
Longitud del ramal técnico y cola maniobras	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Longitud total de la línea	19,3	24,0	25,1	28,0	30,1
Costo PLMB (viaducto, estaciones, sistema ferroviario, material rodante) en MM COP ²	5 601 484	7 106 427	7 863 172	9 251 489	10 245 483
Ramal técnico, Portal Américas a patio-taller	1 057 366	1 057 366	1 057 366	1 057 366	1 057 366
Cola maniobras en nodo de terminación	126 884	126 884	126 884	126 884	126 884
Estaciones integración con TransMilenio	201 600	201 600	252 000	252 000	252 000
Subtotal costo PLMB (MM COP)	6 987 335	8 492 277	9 299 422	10 687 739	11 681 734
Adecuación troncal Caracas	642 852	532 365	501 780	648 738	810 105
Adecuación Avenida Villavicencio	75 000	75 000	75 000	75 000	75 000
Subtotal costo PLMB + troncales (MM COP)	7 705 187	9 099 643	9 876 202	11 411 477	12 566 839
Saldo para canasta de troncales (MM COP)	5 114 813	3 720 357	2 943 798	1 408 523	253 161

Tabla 4 - Costo de inversión del tramo 1 según opciones de nodo de terminación – Fuente: SYSTRA

Teniendo en cuenta que se tiene un presupuesto disponible de 12,82 billones COP, el costo y el saldo para las troncales en cada opción de nodo de terminación determinados en la anterior tabla fueron utilizados para configurar las “canastas” de inversión complementaria a la PLMB con el objetivo de configurar un sistema integrado entre los modos metro y BRT y de esta manera garantizar la alimentación del principal modo de transporte público estructurante en la ciudad.

Cabe resaltar que todos los tramos que se analizan son elevados y se insertan a lo largo de la Avenida Caracas con diferentes longitudes.

Un escenario subterráneo será solamente analizado al compararlo con la configuración de línea elevada que resulte seleccionada en el siguiente análisis multicriterio. La línea subterránea de “referencia” es la que va desde Portal Américas hasta la Calle 100 siendo la línea que estaba aprobada en la anterior administración distrital.

2.4 Configuración y características de transporte de las canastas de inversión con troncales alimentadoras

En la Actividad N° 3, se han estudiado, evaluado y comparado las alternativas de proyecto que más optimizan el diseño de la PLMB teniendo en cuenta las nuevas troncales alimentadoras de TransMilenio, tanto desde un punto de vista social como económico.

² Inversión incluye 22 estaciones entre Portal Américas y Calle 127; posteriormente se optimiza el número de estaciones para la canasta seleccionada

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

Existen numerosas posibles combinaciones para formar las canastas de inversión. A partir de la modelación de transporte realizada por la SDM se determinó qué troncales se integran de forma óptima con cada alternativa de la línea de metro, tal y como se definió en la Figura 3, analizando los siguientes factores:

- Estimación del saldo disponible para troncales.
- Costo de cada troncal, definiendo diferentes puntos de inicio y fin de la misma. Para este cálculo, se emplearon los costos estimados y facilitados por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).
- Simulación del desplazamiento de los usuarios de metro y troncales de TransMilenio, para poder determinar la solución óptima desde el punto de vista de transporte. Este punto fue desarrollado por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM).
- Determinación de los costos totales de cada canasta.

Una vez obtenidos los resultados, tanto de costos totales de cada canasta, como de movilidad y transporte, estos son analizados para determinar si las opciones de troncales elegidas son las óptimas desde el punto de vista social y económico.

Mediante este proceso iterativo de análisis y cálculo, finalmente se definieron las siguientes canastas de inversión:

Item	Canasta A Calle 26	Canasta B Calle 63	Canasta C Calle 72	Canasta D Calle 100	Canasta E Calle 127
Avenida 68	Desde Autosur hasta Cra. 7	Desde Autosur hasta Av. Suba	Desde Autosur hasta Cra. 7	--	--
Avenida Boyacá	Desde Autosur hasta Av. Suba	Desde Autosur hasta Calle 80	Desde Autosur hasta Calle 26	Desde Autosur hasta Av. Suba	--
Avenida Ciudad de Cali	Desde Av. Bosa hasta Portal 80	Desde Av. Bosa hasta Calle 26	Desde Av. Bosa hasta P. Américas	--	--

Tabla 5 - Definición de las troncales de las canastas de inversión – Fuente: SYSTRA y SDM

Consecuentemente con la definición del conjunto de troncales por canasta de inversión según costos y funcionalidad, la SDM realizó las simulaciones de transporte con el fin de establecer las características de su desempeño y los beneficios aportados por cada una de ellas en cuanto al tiempo ahorrado por los usuarios en sus desplazamientos y a los vehículos.km ahorrados según cada estrategia.

A continuación se presentan los escenarios de oferta para cada canasta y los resultados de las simulaciones de la demanda de transporte al horizonte 2030 para cada uno de ellos. Cabe resaltar que la Troncal Carrera Séptima siempre está incluida en las simulaciones por tener un financiamiento asegurado con otras fuentes distintas al presupuesto para la PLMB.

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

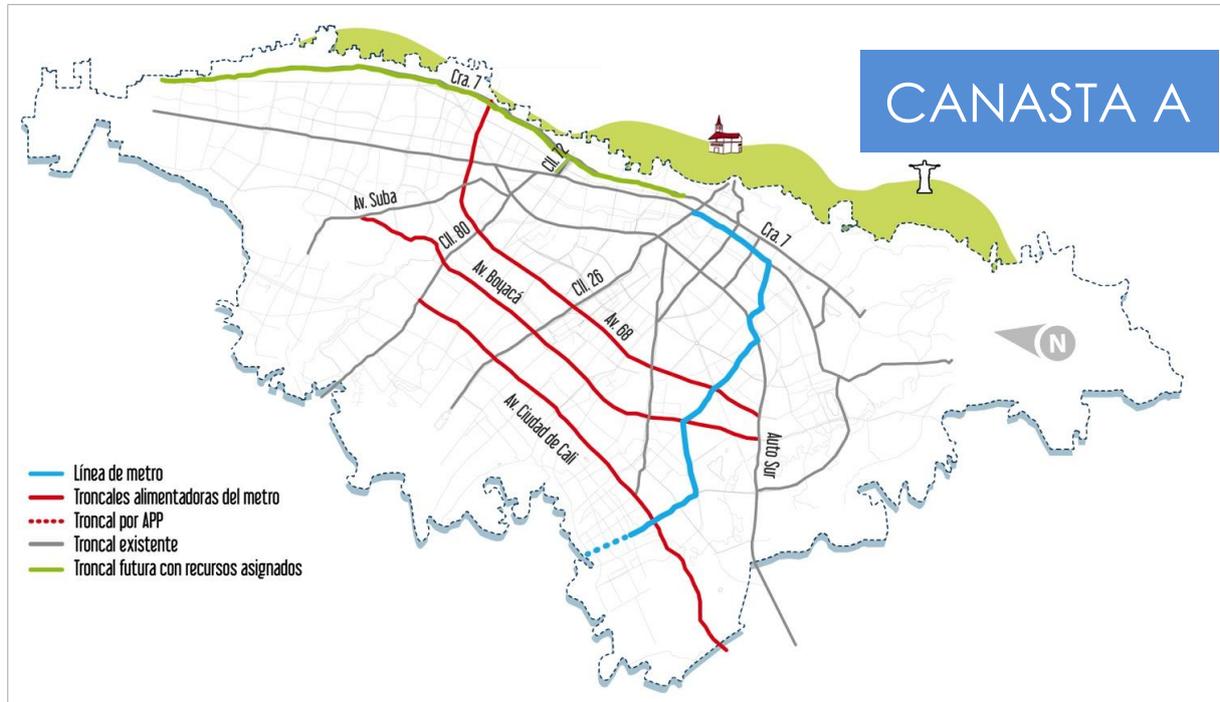


Figura 3 : oferta de transporte de la canasta de inversión A, Calle 26 (Fuente: SDM)

La Canasta A con nodo de terminación en la Calle 26 ofrece grandes beneficios para los usuarios de modos de transporte masivo ya que se produce un incremento de 36% en los embarques en estos modos al atraer 1,28 millón de viajes adicionales respecto a la situación de referencia de no realizar estas inversiones en nuevas troncales. Igualmente se produce un ahorro de 428 300 horas diarias para los viajes motorizados en la ciudad (modos público y vehículo privado).

Características principales de transporte	Canasta A Calle 26	
	Hora pico	Día
Carga Máxima Metro (pphpd)	22 997	22 997
Total Abordajes Metro (pasajeros)	43 359	434 000
Total entrada a masivos (pasajeros)	480 188	4 800 000
Total abordajes transporte público (pasajeros)	1 087 756	10 878 000
Ahorro de tiempo en transporte público (horas)	40 707	407 000
Ahorro de tiempo en auto (horas)	2 132	21 300
Viajes adicionales en transporte público masivo por metro y alimentadoras (pasajeros)	128 035	1 280 000
Longitud de troncales nuevas (km)	52,9	

Tabla 6 - Principales características de transporte Canasta A Calle 26 al horizonte 2030 (Fuente: SDM)

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

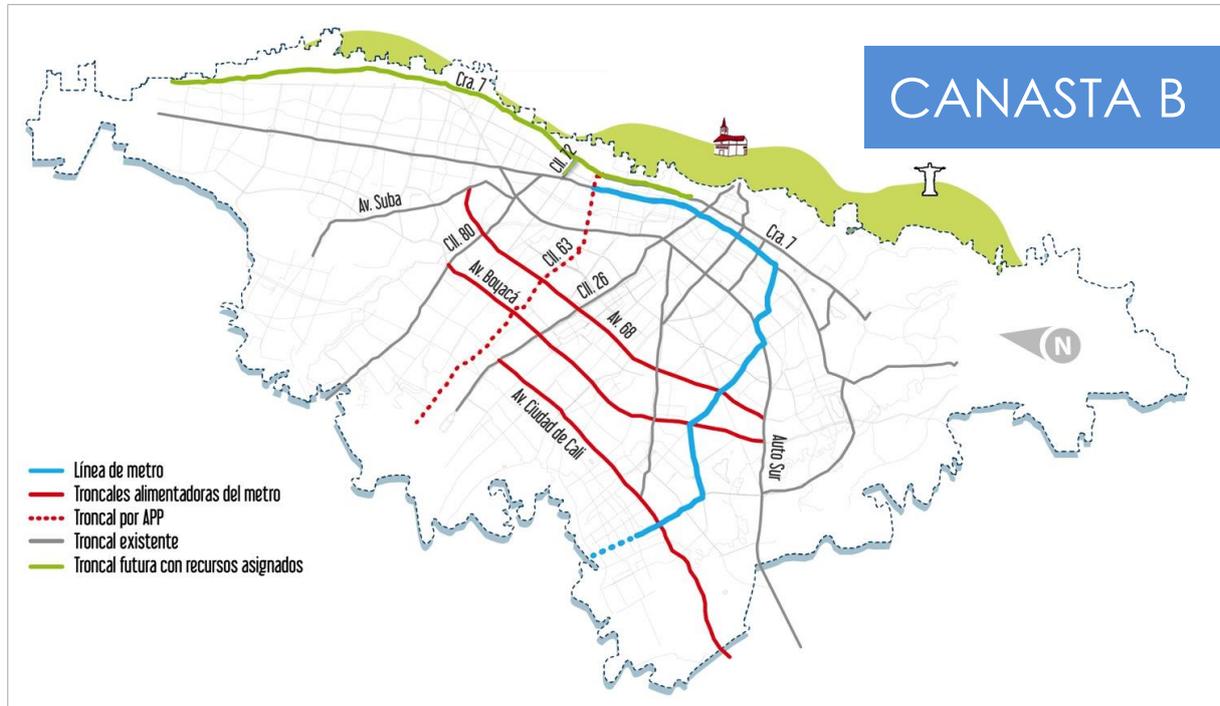


Figura 4 : Canasta de inversión B, hasta nodo de terminación Calle 63 (Fuente: SDM)

En la Canasta B con nodo de terminación en la Calle 63 se produce un incremento de 34% en los embarques en los modos de transporte masivo al atraer 1,19 millón de viajes adicionales respecto a la situación de referencia (la no realización de estas inversiones en nuevas troncales). Igualmente se produce un ahorro de 358 800 horas diarias para los viajes en transporte público y vehículo privado.

Características principales de transporte	Canasta B Calle 63	
	Hora pico	Día
Carga Máxima Metro (pphpd)	27 557	27 557
Total Abordajes Metro (pasajeros)	52 405	524 000
Total entrada a masivos (pasajeros)	471 318	4 710 000
Total abordajes transporte público (pasajeros)	1 085 455	10 855 000
Ahorro de tiempo en transporte público (horas)	34 036	340 000
Ahorro de tiempo en auto (horas)	1 876	18 800
Viajes adicionales en transporte público masivo por metro y alimentadoras (pasajeros)	119 165	1 190 000
Longitud de troncales nuevas (km)	42,4	

Tabla 7 - Principales características de transporte Canasta B Calle 63 al horizonte 2030 (Fuente: SDM)

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

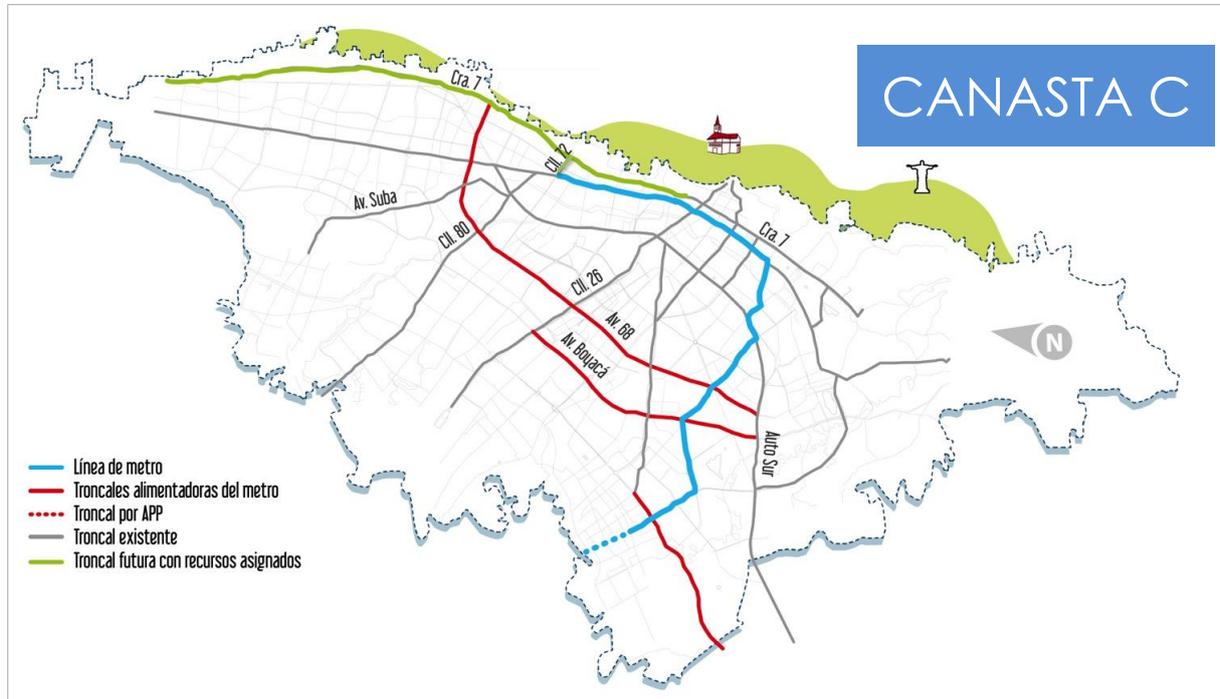


Figura 5 : Canasta de inversión C, hasta nodo de terminación Calle 72 (Fuente: SDM)

En la Canasta C con nodo de terminación en la Calle 72 se produce un incremento de 28% en los embarques en los modos de transporte masivo al atraer 990 mil de viajes adicionales respecto a la situación de referencia (la no realización de estas inversiones en nuevas troncales). Igualmente se produce un ahorro de 320 200 horas diarias para los viajes en transporte público y vehículo privado.

Características principales de transporte	Canasta C Calle 72	
	Hora pico	Día
Carga Máxima Metro (pphpd)	32 526	32 526
Total Abordajes Metro (pasajeros)	65 593	656 000
Total entrada a masivos (pasajeros)	451 064	4 510 000
Total abordajes transporte público (pasajeros)	1 044 828	10 448 000
Ahorro de tiempo en transporte público (horas)	30 968	310 000
Ahorro de tiempo en auto (horas)	1 023	10 200
Viajes adicionales en transporte público masivo por metro y alimentadoras (pasajeros)	98 911	990 000
Longitud de troncales nuevas (km)	33,5	

Tabla 8 - Principales características de transporte Canasta C Calle 72 al horizonte 2030 (Fuente: SDM)

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

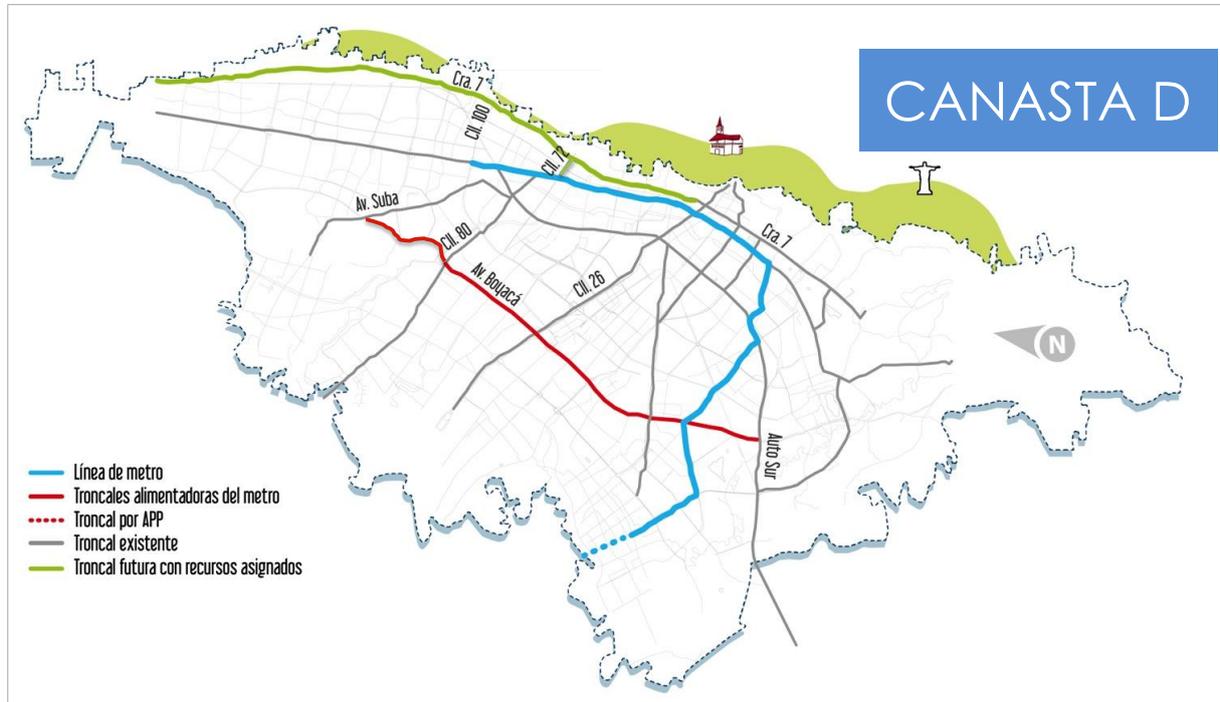


Figura 6 : Canasta de inversión D, hasta nodo de terminación Calle 100 (Fuente: SDM)

En la Canasta D con nodo de terminación en la Calle 100 se produce un incremento de 27% en los embarques en los modos de transporte masivo al atraer 969 mil de viajes adicionales respecto a la situación de referencia (la no realización de estas inversiones en nuevas troncales). Igualmente se produce un ahorro de 331 000 horas diarias para los viajes en transporte público y vehículo privado.

Características principales de transporte	Canasta D Calle 100	
	Hora pico	Día
Carga Máxima Metro (pphpd)	41 568	41 568
Total Abordajes Metro (pasajeros)	78 826	788 300
Total entrada a masivos (pasajeros)	449 092	4 491 000
Total abordajes transporte público (pasajeros)	1 042 294	10 423 000
Ahorro de tiempo en transporte público (horas)	32 332	323 320
Ahorro de tiempo en auto (horas)	768	7 700
Viajes adicionales en transporte público masivo por metro y alimentadoras (pasajeros)	96 939	970 000
Longitud de troncales nuevas (km)	17,2	

Tabla 9 - Principales características de transporte Canasta D Calle 100 al horizonte 2030 (Fuente: SDM)

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

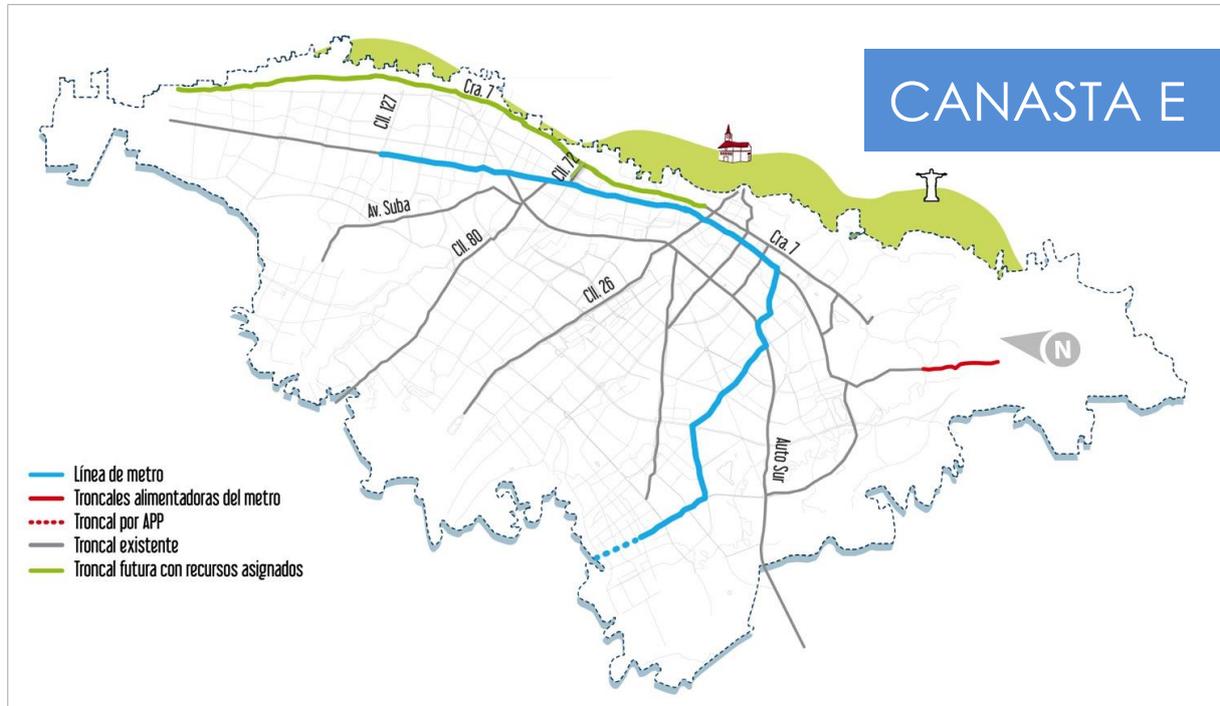


Figura 7 : Canasta de inversión E, hasta nodo de terminación Calle 127 (Fuente: SDM)

En la Canasta E con nodo de terminación en la Calle 127 se produce un incremento de 17% en los embarques en los modos de transporte masivo al atraer 600 mil de viajes adicionales respecto a la situación de referencia (la no realización de estas inversiones en nuevas troncales). Igualmente se produce un ahorro de 178 700 horas diarias para los viajes en transporte público y vehículo privado.

Características principales de transporte	Canasta E Calle 127	
	Hora pico	Día
Carga Máxima Metro (pphpd)	46 041	46 041
Total Abordajes Metro (pasajeros)	85 023	850 000
Total entrada a masivos (pasajeros)	412 230	4 120 000
Total abordajes transporte público (pasajeros)	1 012 783	10 128 000
Ahorro de tiempo en transporte público (horas)	17 613	176 000
Ahorro de tiempo en auto (horas)	171	1 700
Viajes adicionales en transporte público masivo por metro y alimentadoras (pasajeros)	60 076	600 000
Longitud de troncales nuevas (km)	0	

Tabla 10 - Principales características de transporte Canasta E Calle 127 al horizonte 2030 (Fuente: SDM)

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

2.5 Resumen de costos de las troncales alimentadoras de la PLMB por cada canasta de inversión

A partir del saldo resultante de la diferencia entre el monto asignado para la ejecución de la PLMB de 12,82 billones COP y los costos de inversión estimados según cada nodo de terminación, se constituyeron canastas de inversión para las troncales alimentadoras a la línea de metro.

Cada escenario de líneas troncales alimentadoras fue probado desde el punto de vista de su desempeño de transporte mediante simulaciones elaboradas con un modelo de transporte por parte de la SDM. El conjunto de troncales por cada canasta de inversión está resumido en la siguiente tabla, pudiendo de esta manera finalmente establecer el monto global de la inversión.

Se consideró que el monto de inversión por cada canasta podía fluctuar en más o menos 3% de los 12,82 billones COP.

ITEM	Canasta A Calle 26	Canasta B Calle 63	Canasta C Calle 72	Canasta D Calle 100	Canasta E Calle 127
Av. 68 (AutoSur a Suba)	1 294 015	1 294 015	1 294 015	--	--
Av. 68 (Suba a Cra. 7)	327 908	--	327 908	--	--
Av. Boyacá (AutoSur a Suba)	1 458 685	--	--	1 458 685	--
Av. Boyacá (AutoSur a Cll. 80)	--	1 135 757	--	--	--
Av. Boyacá (AutoSur a Cll. 26)	--	--	785 706	--	--
Av. Ciudad de Cali (Av. Bosa - Portal 80)	2 150 543	--	--	--	--
Av. Ciudad de Cali (Av. Bosa – Cll. 26)	--	1 752 337	--	--	--
Av. Ciudad de Cali (Av. Bosa - P Américas)	--	--	836 577	--	--
Subtotal para troncales alimentadoras	5 231 152	4 182 109	3 244 207	1 458 685	0
Total inversión de la "Canasta"	12 936 338	13 281 752	13 120 410	12 870 162	12 566 839

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

3. PROCESO DE COMPARACION DE LAS CANASTAS DE INVERSION

3.1 Contexto

Para seleccionar apropiadamente el nodo de terminación del Tramo 1 de la PLMB y el conjunto de las canastas de inversiones que lo acompaña, se compararon cuatro criterios fundamentales de evaluación que miden:

- La calidad del servicio de transporte para cada canasta:
 - Volumen de viajes con origen ó destino en el nodo de terminación de la PLMB, que determina la continuidad o ruptura de los viajes
 - Nivel de servicio en la troncal de TransMilenio más cargada, considerando que un pphpd superior a 30 000 estaría por encima del límite del nivel de confort al usuario establecido originalmente en la troncal Caracas
- El desempeño del sistema de transporte público: captura la contribución de la canasta de inversión a la movilidad de la ciudad y los costos operacionales asociados a cada pasajero
 - Ahorros globales en tiempo de viaje para los usuarios del transporte público
 - Costo operacional por pasajero: se refiere al costo que implica la movilización de un pasajero en el conjunto del sistema (metro + troncales + buses zonales)
- El impacto urbano del nodo de terminación de la PLMB en cada canasta mide el:
 - Potencial de desarrollo inmobiliario y de nuevo espacio público
 - Potencial de recuperación de zonas deprimidas
 - Impacto visual de la estación final y la cola de maniobras (retorno y parqueo de trenes)
- La conectividad de la línea en el nodo de terminación:
 - Número de estaciones de TransMilenio cercanas a la estación final de la PLMB
 - Longitud de carriles en vías principales cercanas a la estación final de la PLMB

Una vez establecido lo anterior, se definió una calificación cuantitativa para cada uno de los criterios según un sistema de notas que se distribuyen entre 5 grupos de "A" a "E", siendo la A la mejor nota y la E la menor nota.

De esta forma, los resultados obtenidos para cada uno de los criterios se describen en las siguientes secciones.

3.1 Criterio de calidad del servicio de transporte en cada canasta

Los beneficios de transporte de cada canasta están dados no solamente por el volumen de embarques en los modos de transporte masivo o en el tiempo ahorrado por los usuarios en cada escenario de oferta, sino por la calidad de transporte para los usuarios del metro que se produce en cada nodo de terminación.

Las características de los movimientos y flujos de transporte en cada nodo de terminación es lo que caracterizará la calidad del servicio de transporte del modo metro: si los usuarios deben hacer transferencia del modo metro al modo BRT para continuar su desplazamiento o si el confort del viaje dependerá de qué tanto estén ocupados los servicios troncales de TransMilenio.

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

Para establecer la calidad del servicio de transporte en cada canasta fue necesario considerar dos indicadores que, desde el punto de vista de los usuarios, miden apropiadamente este criterio: los viajes con origen/destino al nodo de terminación y el nivel de servicio en la troncal de TransMilenio más cargada para cada nodo de terminación.

La siguiente tabla presenta algunos indicadores de transporte para cada canasta que caracterizan lo que sucede en cada nodo de terminación. Se puede observar que es en el nodo de terminación Calle 72 donde se genera la mayor demanda de transporte medidos por la cantidad de movimientos que se producen en esa estación.

Desempeño de transporte (HP horizonte 2030)	CANASTA A Calle 26	CANASTA B Calle 63	CANASTA C Calle 72	CANASTA D Calle 100	CANASTA E Calle 127
Total movimientos nodo de terminación	10 602	15 848	19 597	16 531	10 401
Total transferencias nodo de terminación	7 665	8 533	9 931	6 821	7 148
Viajes con O o D en nodo de terminación	2 937	7 315	9 666	9 710	3 253
Transferencias desde / hacia TransMilenio	7 610	8 434	7 550	6 821	3 992
Transferencias zonal en nodo de terminación	55	99	2 381	0	3 156
Total movimientos línea completa	86 718	104 809	131 185	157 262	170 045
Total transferencias línea completa	44 123	45 400	55 801	65 264	68 072
Total abordajes TP	1 087 756	1 085 455	1 044 828	1 042 294	1 012 783
Total transferencias sistema	446 000	444 000	403 000	401 000	373 000

Tabla 11 - características de los movimientos de transporte en cada nodo de terminación, HP horizonte 2030 (Fuente: SDM)

3.1.1 Viajes con origen y destino en cada nodo de terminación

El volumen de viajes con origen o destino en cada nodo de terminación refleja la cantidad de usuarios del sistema de metro que estarían llegando directamente a su punto de destino sin necesidad de realizar trasbordos a otro modo de transporte para finalizar su viaje.

Este hecho reflejaría la calidad de servicio que puede ofrecer a los usuarios la línea de metro construida.

La siguiente figura presenta la repartición de los movimientos en cada nodo de terminación. Se puede observar que en los nodos de terminación de la Calle 72 y de la Calle 100 es donde los usuarios pueden utilizar la PLMB para llegar directamente a su destino si necesidad de transbordos. Las transferencias hacia los servicios troncales de TransMilenio son igualmente menores en estos dos nodos de terminación.

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

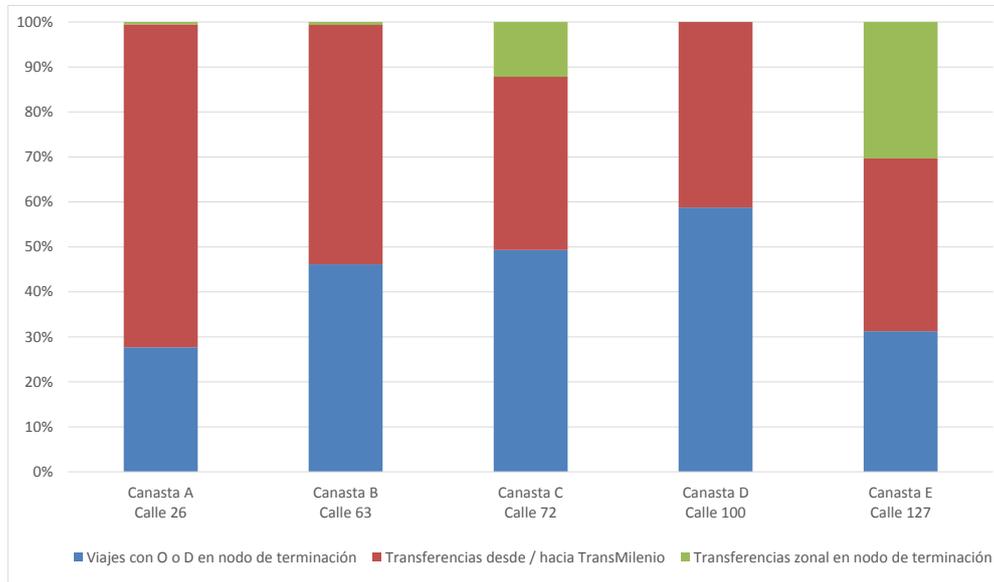


Figura 8 : Distribución de movimientos por cada nodo de terminación, horizonte 2050 (Fuente: SDM)

La siguiente tabla presenta la cuantificación del indicador viajes con origen/destino directo para cada nodo de terminación:

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
Viajes con Origen/Destino en nodo terminación	2 937	7 315	9 666	9 710	3 253
CALIFICACIÓN	E	B	A	A	E

Tabla 12 - Valores de resultados y calificación del indicador “Viajes con O/D en nodo de terminación” – Fuente: SYSTRA y SDM

3.1.2 Nivel de servicio en la troncal de TransMilenio más cargada

El Tramo 1 de la PLMB construido hasta determinado nodo de terminación tiene impactos en la continuidad de los desplazamientos de los usuarios y en el volumen de la ruptura de carga que representa cada corte en la longitud de la línea de metro. La continuidad en el desplazamiento de los usuarios estaría asegurada por la transferencia Metro-TransMilenio, pero este hecho tiene repercusiones en la saturación de los servicios troncales de TM en el área de influencia del metro y a lo largo de la Avenida Caracas.

Por tanto, se ha identificado para cada nodo de terminación un ratio de la calidad del servicio medido como la relación entre la carga máxima (pphd) de la troncal Caracas (en la canasta) y un límite en su capacidad de 30 000 pphpd, umbral a partir del cual el sistema TransMilenio sobrepasa el confort definido en su diseño. La siguiente tabla presenta las características de este desempeño en la calidad de servicio en cada nodo de terminación.

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

	A- Elevado-CL 26	B- Elevado-CL 63	C- Elevado-CL 72	D- Elevado-CL 100	E- Elevado-CL 127
Carga máxima metro (HP)	22.997	27.557	32.526	41.568	46.041
Carga máxima TM (HP)	47000	44000	41000	44000	45000
Calidad de servicio ratio	1,57	1,47	1,37	1,47	1,50

Tabla 13 - Desempeño de calidad de servicio en cada nodo de terminación – Fuente: SYSTRA y SDM

La siguiente tabla presenta la cuantificación de este indicador para cada una de las canastas:

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
Nivel de servicio en troncal TM más cargada en nodo terminación	1,57	1,47	1,37	1,47	1,50
CALIFICACIÓN	E	C	A	B	D

Tabla 14 - Valores de resultados y calificación del indicador “Nivel de servicio en la troncal TM más cargada” – Fuente: SYSTRA

Para comprobar el efecto de los dos indicadores descritos y calificados atrás, se presenta la siguiente figura en donde se puede observar que de los cinco nodos de terminación estudiados, es en el de la Calle 72 donde se producen la mayor cantidad de descensos en los sentidos S-N y N-S para la hora pico de la mañana, es decir que este nodo de terminación es un terminal natural para los usuarios que se desplazan desde el sur hacia Chapinero y desde el norte hacia esta misma zona.

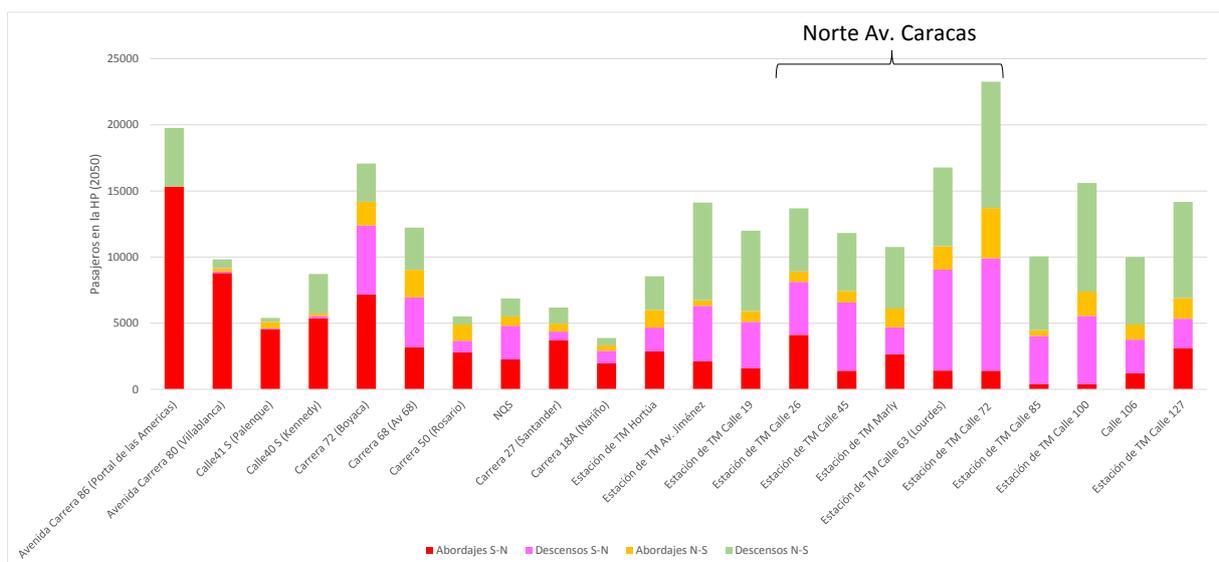


Figura 9 : Diagrama de afluencia de pasajeros por estación Alternativa D.1, horizonte 2050 (Fuente: SDM)

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

3.2 Desempeño del sistema de transporte público en cada canasta

El desempeño del sistema de transporte público medido como la contribución de la canasta de inversión a la movilidad de la ciudad y a los costos asociados a esa movilización pretende conocer cuáles son los efectos que tiene la configuración de transporte de cada canasta en el conjunto del sistema de transporte público de la ciudad.

En efecto, la configuración de la oferta de transporte de cada canasta aporta beneficios que fueron presentados en el capítulo 2 del presente informe. Los beneficios son medidos básicamente con el ahorro por la reducción de los tiempos de viaje en cada canasta con respecto al escenario “sin proyecto”.

La siguiente tabla presenta una síntesis de esos aportes. Se puede observar en ella que en cuanto más extensa la red de servicios troncales y una menor longitud de la PLMB, mayores son los ahorros en tiempos de viaje.

Características principales de transporte	Canasta A Calle 26	Canasta B Calle 63	Canasta C Calle 72	Canasta D Calle 100	Canasta E Calle 127
Carga Máxima Metro (pphpd)	22 997	27 557	32 526	40 219	46 041
Total Abordajes Metro (pas)	43 359	52 405	65 593	78 826	85 023
Total entrada a masivos (pasajeros)	480 188	471 318	451 064	449 092	412 230
Total abordajes transporte público (pas)	1 087 756	1 085 455	1 044 828	1 042 294	1 012 783
Ahorro de tiempo en TP (horas)	40 707	34 036	30 968	32 332	17 613
Ahorro de tiempo en auto (horas)	2 132	1 876	1 023	768	171
Viajes adicionales en masivos	128 035	119 165	98 911	96 939	60 076

Tabla 15 - Desempeño global de transporte en cada canasta de inversión (Fuente: SDM)

3.2.1 Ahorros globales en tiempo de viaje para los usuarios de transporte público

La Canasta A Calle 26 es la que obtiene la mayor calificación en cuanto al desempeño del sistema de transporte público cuando se cuantifica el indicador de ahorros globales de tiempos de viaje. La oferta de transporte público contenida en esta canasta es la que proporciona un mayor ahorro de tiempo para los usuarios en la ciudad.

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
Ahorros globales en tiempo de viaje (horas ahorradas/día) horizonte 2030	407 070	340 360	309 680	323 320	176 130
CALIFICACIÓN	A	B	C	B	E

Tabla 16 - Valores de resultados y calificación del indicador “Ahorros globales en tiempo de viaje por canasta” – Fuente: SYSTRA

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

3.2.2 Costo operacional por pasajero del transporte público

En cuanto a los costos operacionales por pasajero en cada canasta de inversión, la siguiente tabla presenta el costo de transportar cada pasajero en los modos convencionales (bus y troncales), en el modo metro y en el conjunto de modos (sistema global de troncales más línea de metro). Se han considerado en los costos operacionales 4,56 USD/vagón.km para el metro (ver Anexo 4 de este informe), 6 800 COP/bustroncal.km y 5 800 COP/bus.km³. Cabe anotar, que estos datos corresponden a simulaciones obtenidas para un universo de 18 estaciones hasta la Calle 72 y de 22 estaciones hasta la Calle 127.

Los trenes.km calculados dependen de la longitud del nodo de terminación, de la carga máxima en línea (ver sección 2.4 de este informe) y de la frecuencia de servicio que atiende esta carga máxima en línea (pphpd). Cabe anotar que la estimación de los trenes.km de las líneas de metro de cada canasta consideran únicamente el tramo entre el terminal Portal Américas y los terminales por cada canasta excluyendo los trenes.km producidos en el ramal técnico, los de maniobras y viajes en vacío.

Resultados al horizonte 2030	Canasta A Calle 26	Canasta B Calle 63	Canasta C Calle 72	Canasta D Calle 100	Canasta E Calle 127
SISTEMA DE BUSES					
Embarques Troncales (HP)	658 000	632 758	562 376	540 181	468 165
Embarques Zonales (HP)	386 397	400 292	416 859	423 287	459 595
BusTroncal.km (HP)	3 133	3 099	2 938	2 890	2 783
Bus.km (HP)	45 607	45 013	40 082	37 832	33 204
Costos O&M sistema Troncal-Zonal (MM COP)	181 239	183 203	199 512	206 955	222 265
Costo operacional/pasajeros Troncal-Zonal (COP/pas)	4 437 880	4 461 853	4 660 921	4 751 771	4 938 646
SISTEMA METRO					
Embarques (HP)	43 359	52 405	65 593	78 826	85 023
Tren.km adecuados a demanda (HP)	366	566	708	1 034	1 319
Costos O&M anuales metro sin conductores (MM COP)	102 868	159 065	199 001	290 600	370 580
Costo operacional/pasajero sin conductores (COP/pas)	791	1 012	1 011	1 229	1 453
SISTEMA DE BUSES Y METRO					
Costo operacional/pasajeros Combinado(COP/pas)	1 391	1 419	1 550	1 613	1 747

Tabla 17 - Costos de explotación por pasajero en el sistema de transporte masivo (Fuente: SYSTRA)

Considerando el análisis elaborado, en la siguiente tabla se presentan los resultados de las calificaciones del aspecto costos operacionales por pasajero para los nodos de terminación correspondientes a la Calle 26, Calle 63, Calle 72, Calle 100 y Calle 127. Se observa que el costo operacional combinado de todos los modos de transporte público en la ciudad es menor en la Canasta A Calle 26.

³ Según datos suministrados por TransMilenio en 2016

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

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
Costo operacional (metro + buses)/ pasajero en HP horizonte 2030 (COP 2016)	1 391	1 419	1 550	1 613	1 747
CALIFICACIÓN	A	A	C	D	E

Tabla 18 - Valores de resultados y calificación del indicador "Costos operacionales por pasajero" – Fuente: SYSTRA

3.3 Impacto urbano del nodo de terminación de cada canasta

En concordancia con el análisis urbano realizado en la Actividad N° 2 del análisis multicriterio, para la valoración y caracterización del nodo de terminación, se escogieron aquellos criterios que se vieran influenciados positiva o negativamente por la inserción de la estación y su respectiva cola de maniobras.

Para los cinco posibles nodos de terminación se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

1. **Potencial desarrollo proyectos inmobiliarios:** establecido como el área (m²) total de la manzana donde se encuentre ubicado un posible acceso lateral a la estación. En el caso de estaciones elevadas, esta área es multiplicada por el número de pisos necesarios para ingresar a la estación.
Los accesos que se realizan directamente desde el espacio público por medio de escaleras y puentes, no implican un área de potencial desarrollo inmobiliario.
2. **Potencial desarrollo espacio público:** este criterio es cuantificado como el área (m²) correspondiente al veinte por ciento (20%) del "Potencial de desarrollo inmobiliario" inicial de un solo piso.
3. **Potencial recuperación de zonas deprimidas:** 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.
4. **Impacto visual:** 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 sección transversal a lo largo de las diferentes alternativas, tanto en estaciones como en el nodo de terminación, se cuantificó el porcentaje de lo construido (lleno), sobre el área libre no construida (vacío). De esta manera, es posible estimar un porcentaje (%) de impacto.

Se presentan en los Anexos 1 y 2 la cartografía asociada a este análisis.

3.3.1 Nodo Calle 26

El nodo de la Calle 26 se caracteriza principalmente por estar ubicado en una importante área de renovación de la ciudad. Adicionalmente, se encuentra en una zona deprimida social y económicamente, lo que posibilita un desarrollo inmobiliario, lo cual conlleva, a la generación de espacio público, contribuyendo a la calidad tanto del sistema metro como del mismo sector. En cuanto

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

al impacto visual del nodo, la estación se encuentra en una zona con un amplio perfil vial debido a una buena proporción de espacio público que reduce este impacto generado por la infraestructura del sistema.

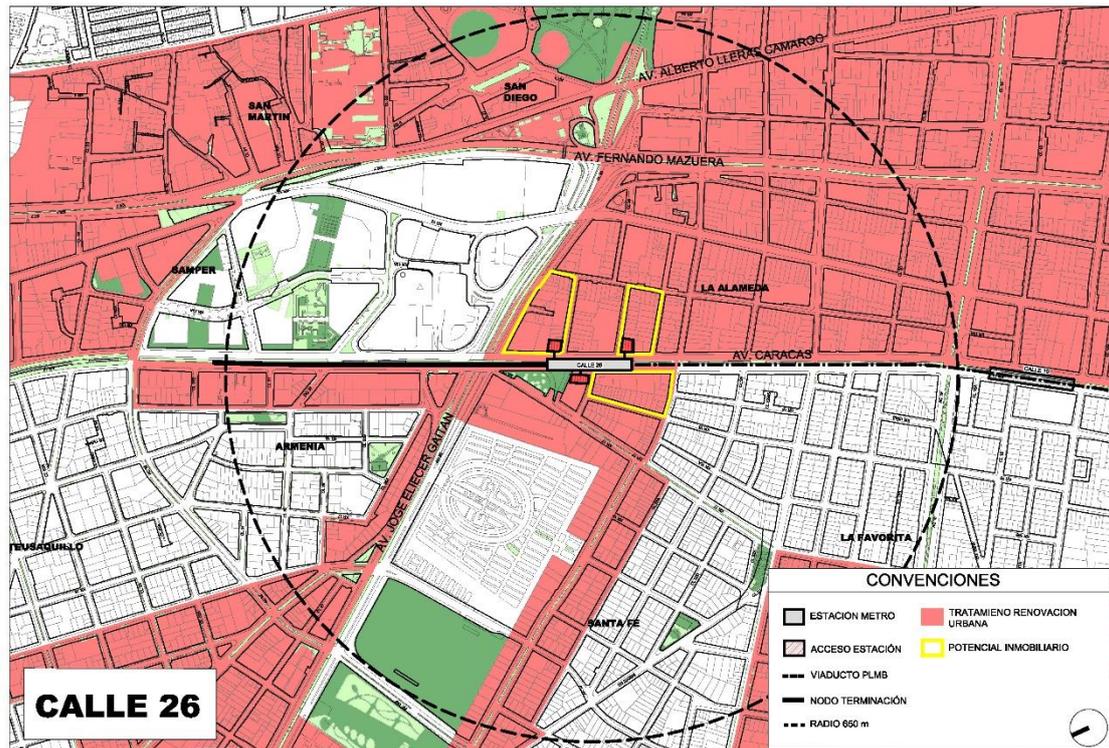


Figura 10 : Caracterización urbana nodo de terminación Calle 26 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

3.3.2 Nodo Calle 63

Las manzanas adyacentes a esta estación no están contempladas en el POT como zonas de renovación urbana, lo que significa una baja posibilidad de desarrollo inmobiliario y de generación de espacio público en el sector. Por otro lado, el perfil vial en esta zona está entre los 39 m y 44 m, generando impacto visual significativo.

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

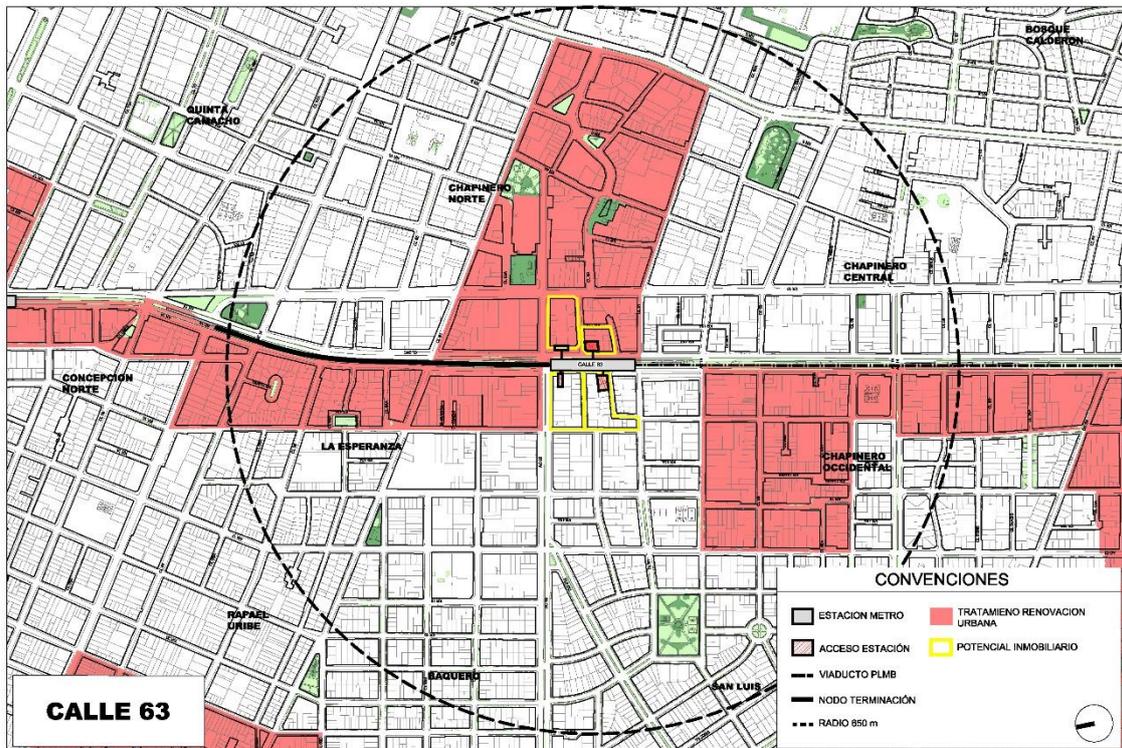


Figura 11 : Caracterización urbana nodo de terminación Calle 63 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

3.3.3 Nodo Calle 72

Este nodo se encuentra en una zona de renovación importante. Sumado a esto, el lugar cuenta con una importante actividad empresarial y comercial, lo que contribuye a la potencialización del desarrollo inmobiliario que conlleva a la generación de elementos públicos para usos sociales característicos de la vida urbana.

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

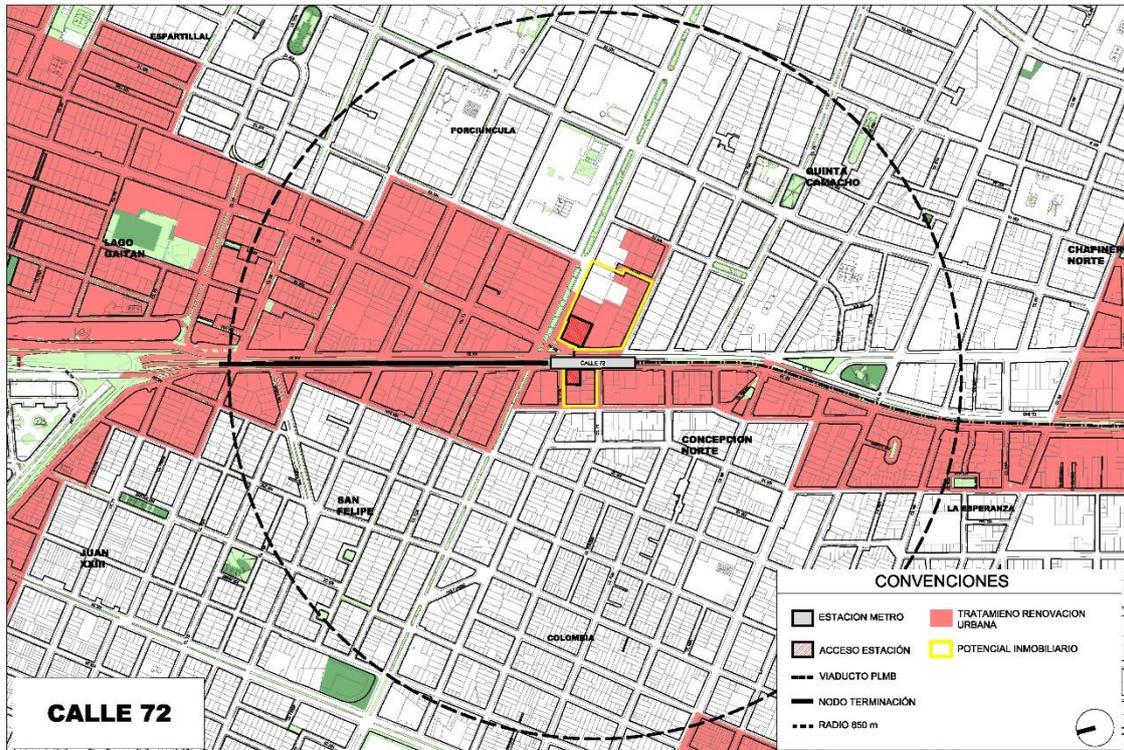


Figura 12 : Caracterización urbana nodo de terminación Calle 72 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

3.3.4 Nodo Calle 100

Este nodo no cuenta con áreas de renovación estipuladas por el POT. Sin embargo, se encuentra en una zona de alto potencial inmobiliario debido a su localización en uno de los ejes más importantes de toda la ciudad, la Autopista Norte. El perfil de esta vía, con varias calzadas y separadores arborizados, contribuye a un menor impacto visual por la implantación del sistema.

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



Figura 13 : Caracterización urbana nodo de terminación Calle 100 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

3.3.5 Nodo Calle 127

Este nodo no cuenta con áreas de renovación estipuladas por el POT. Sin embargo, se encuentra en una zona de alto potencial inmobiliario debido a su localización en uno de los ejes más importantes de toda la ciudad, la Autopista Norte. El perfil de esta vía, con varias calzadas y separadores arborizados, contribuye a un menor impacto visual por la implantación del sistema.

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

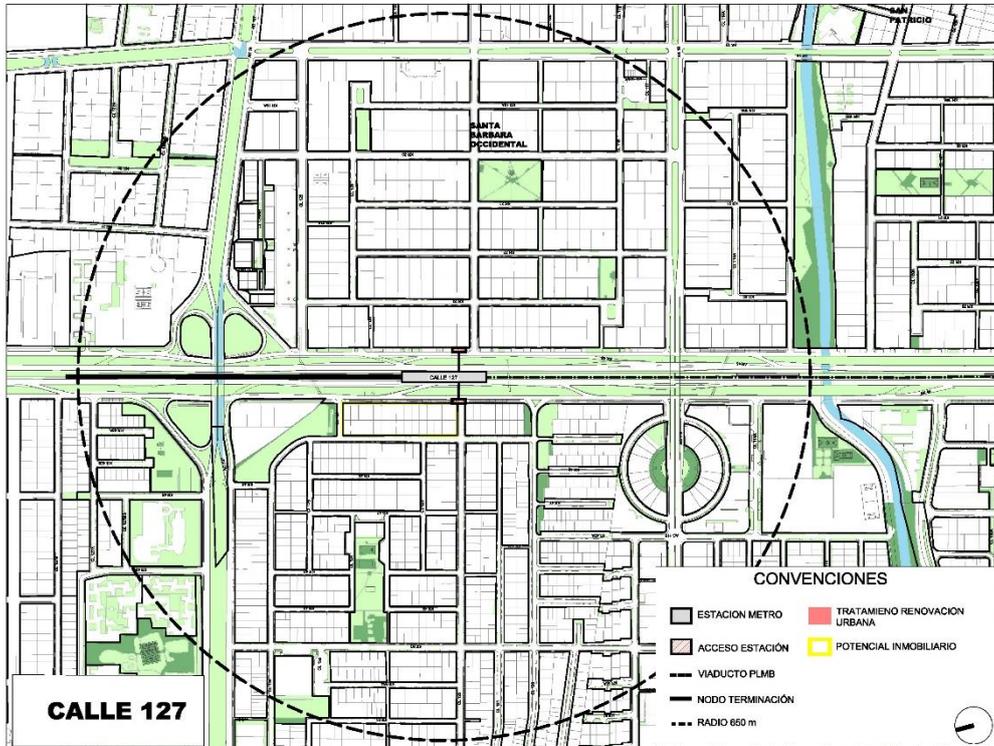


Figura 14 : Caracterización urbana nodo de terminación Calle 127 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

Considerando el análisis presentado anteriormente, en las tablas a continuación se presentan los resultados de las calificaciones de los aspectos urbanos para los nodos de terminación correspondientes a la Calle 26, Calle 63, Calle 72, Calle 100 y Calle 127.

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
POTENCIAL INMOBILIARIO (m ²)	45.358	24.997	35.712	9.800	23.316
CALIFICACIÓN	A	C	B	E	D

Tabla 19 - Valores de resultados y calificación del indicador "Potencial inmobiliario" – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Como se puede ver, la mejor calificación obtenida para el potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios corresponde al nodo de terminación de la Calle 26, debido principalmente al tamaño de las manzanas en este sector que se ven afectadas por los accesos a la estación proyectada. Por otro lado, las estaciones Calle 100 y Calle 127 son las que reciben una peor calificación, debido al amplio perfil que presenta la Autopista Norte, el impacto visual es menor al de otros puntos del trazado, permitiendo así, la ubicación de las áreas de funcionamiento de la estación dentro de sí misma y no en edificios laterales. De esta manera los accesos a la estación se pueden dar desde el espacio público.

En el Anexo 1 se presentan los planos de análisis del potencial inmobiliario, generados para cada uno de los nodos de terminación

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

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
POTENCIAL ESPACIO PÚBLICO (m ²)	4.536	2.500	3.571	980	2.332
CALIFICACIÓN	A	C	B	E	D

Tabla 20 - Valores de resultados y calificación del indicador "Potencial desarrollo espacio público" – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

En concordancia con el punto anterior, el potencial de generación de espacio público constituye un 20% sobre el área inicial del Potencial de desarrollo Inmobiliario, antes de multiplicarse por el número de pisos de la estación. De acuerdo con esto, las calificaciones obtenidas en este criterio son iguales a las del criterio anterior.

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
RECUPERACIÓN DE ZONAS DEPRIMIDAS (m ²)	37.459	7.791	48.319	0	0
CALIFICACIÓN	B	E	A	E	E

Tabla 21 - Valores de resultados y calificación del indicador "Potencial zonas renovación" – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Para calificarse este criterio se valoraron las Zonas de Renovación Urbana según el POT (Decreto 190 de 2004) y los tratamientos establecidos en cada UPZ. De acuerdo a esto, encontramos que la estación con mejor calificación es la estación de la Calle 72 seguida por Calle 26, ambas ubicadas en lugares con un fuerte potencial de renovación urbana. Las otras estaciones se encuentran ubicadas en lugares donde el POT no establece el suelo bajo tratamiento de renovación urbana por lo que obtienen las peores calificaciones.

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
IMPACTO VISUAL (%)	20	42	37	22	20
CALIFICACIÓN	A	E	D	A	A

Tabla 22 - Valores de resultados y calificación del indicador "Impacto visual" – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Como se puede ver en la tabla anterior, el nodo de terminación de la calle 100, 127 y 26 son los que presentan la mejor calificación, lo que se asocia en los dos primeros casos con el amplio perfil que tienen la Autopista Norte, minimizando el impacto de la estación. En el caso de la Calle 26 esto se atribuye a que la estación está ubicada en un lote baldío y espacio público, minimizando así el impacto visual de la estación. Por otro lado, las estaciones ubicadas en la Avenida Caracas presentan un porcentaje mayor de impacto visual, debido al perfil más estrecho que esta presenta con respecto a la Autopista Norte. En el Anexo 2 se presentan los planos de impacto visual, generados para cada uno de los nodos de terminación.

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

3.4 Conectividad de la línea en el nodo de terminación

Para evaluar la conectividad se consideró la cercanía con las estaciones y/o troncales de TransMilenio, lo que evalúa la integración entre los diferentes modos, así como, la presencia de vías principales en un radio de 650 metros para cada uno de los nodos de terminación. Para el primer caso, cercanía con estaciones de TransMilenio, se obtuvo el resultado que se muestra en la siguiente tabla.

NODO TERMINACION	ESTACIONES TM
CALLE 26	5
CALLE 63	4
CALLE 72	4
CALLE 100	2
CALLE 127	2

Tabla 23 – Número de estaciones de TM identificadas (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

En cuanto a las vías principales se involucraron dentro del análisis realizado, los perfiles viales V1, V2 y V3, dando a cada uno de ellos un peso dependiendo de su sección transversal, tal y como se muestra a continuación.

PERFIL VIAL	ANCHO (m)	No. CARRILES	PESO
V0	100	12	100%
V1	60	10	80%
V2	40	6	60%
V3	30	6	50%

Tabla 24 – Vías principales analizadas (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

De esta forma, para cada uno de los nodos se obtienen los siguientes resultados:

NODO TERMINACION	ESTACIONES TM	VÍAS PRINCIPALES
CALLE 26	5	2,8
CALLE 63	4	1,6
CALLE 72	4	2,1
CALLE 100	2	1,9
CALLE 127	2	1,6

Tabla 25 – Identificación de estaciones y vías principales en nodos de terminación (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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 las figuras que se presentan a continuación, se muestra la conectividad identificada de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente, para cada uno de los nodos de terminación.



Figura 15 : Conectividad nodo de terminación Calle 26 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)



Figura 16 : Conectividad nodo de terminación Calle 63 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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



Figura 17 : Conectividad nodo de terminación Calle 72 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)



Figura 18 : Conectividad nodo de terminación Calle 100 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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



Figura 19 : Conectividad nodo de terminación Calle 127 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

Para realizar el análisis de este criterio, se tuvieron en cuenta las consideraciones descritas anteriormente y se le asignó un peso equitativo correspondiente al 50%, a cada uno de los indicadores evaluados: conectividad con estaciones de TM y con vías principales. Siguiendo la metodología empleada en la matriz multicriterio de evaluación de alternativas, descrita en el Entregable 3, se presentan los resultados obtenidos como parte del criterio de conectividad de la línea en el nodo.

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
CERCANIA CON TRONCALES TM	5	4	4	2	2
CALIFICACIÓN	A	B	B	E	E

Tabla 26 - Valores de resultados y calificación del indicador "Cercanía troncales TM" – Fuente: SYSTRA-SIGMA

De lo anterior, se puede ver que la Calle 26 obtuvo la mejor calificación debido a que este nodo tiene conectividad con 5 estaciones de TransMilenio dentro de las cuales se encuentran: Museo Nacional, San Diego, Calle 22, Calle 26 y Estación Central. Mientras que la Calle 100 y 127 son los nodos que presentan la más baja calificación debido a que cuentan con dos estaciones de TM en su influencia.

INDICADOR	CALLE 26	CALLE 63	CALLE 72	CALLE 100	CALLE 127
VÍAS PRINCIPALES	2,8	1,6	2,1	1,9	1,6
CALIFICACIÓN	A	E	C	D	E

Tabla 27 - Valores de resultados y calificación del indicador "Cercanía vías principales" – Fuente: SYSTRA-SIGMA

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 nodo de la Calle 26 obtuvo la mejor calificación al tener conectividad con cuatro vías principales que tienen amplios perfiles viales, tales como: la Carrera 7, la Carrera 10, Calle 19 y la Calle 26, mientras las secciones de las vías de conectividad del nodo de la Calle 63 y Calle 127 son más reducidas, por lo que obtienen la calificación más negativa.

3.5 Matriz de comparación de las canastas de inversión

Como en el proceso de análisis multicriterio para las alternativas de trazado, se propusieron pesos relativos para los criterios e indicadores que componen la evaluación de las canastas ante el CSC. Estas ponderaciones fueron propuestas por el equipo Consultor de SYSTRA.⁴ La notación final de los anteriores criterios identifica a la **Canasta C con 3,90 puntos** como el conjunto de inversiones para la ejecución del Tramo 1 de la PLMB hasta la Calle 72 y cuatro tramos de troncales de TransMilenio. La siguiente tabla presenta las puntuaciones para cada criterio y cada canasta.

Indicador	Peso indicador	Peso criterio	Peso absoluto	Canasta A Nodo Calle 26	Canasta B Nodo Calle 63	Canasta C Nodo Calle 72	Canasta D Nodo Calle 100	Canasta E Nodo Calle 127
Calidad del servicio de transporte								
Viajes con origen / destino en el nodo terminación	50%	35%	17,5%	0,18	0,70	0,88	0,88	0,18
Nivel de servicio en la troncal de TransMilenio más cargada	50%		17,5%	0,18	0,53	0,88	0,53	0,35
Desempeño del sistema de transporte público								
Ahorros globales en tiempo de viaje para usuarios del TP	50%	35%	17,5%	0,88	0,70	0,53	0,70	0,18
Costo operacional (metro + buses) por pasajero	50%		17,5%	0,88	0,88	0,53	0,35	0,18
Impacto urbano del nodo de terminación								
Potencial de generación de espacio público	25%	20%	5,0%	0,25	0,15	0,20	0,05	0,10
Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios	25%		5,0%	0,25	0,15	0,20	0,05	0,10
Potencial de recuperación de zonas deprimidas	25%		5,0%	0,20	0,05	0,25	0,05	0,05
Impacto visual	25%		5,0%	0,25	0,05	0,10	0,25	0,25
Conectividad de la línea en el nodo de terminación								
Con troncales de TransMilenio	50%	10%	5,0%	0,25	0,20	0,20	0,05	0,05
Con vías principales	50%		5,0%	0,25	0,05	0,15	0,10	0,05
		100%	100%	3,55	3,45	3,90	3,00	1,48

Tabla 28 - Resultados cuantitativos del proceso de evaluación de los indicadores por opción de canasta (Fuente: SYSTRA)

⁴ Joaquín Ortiz, Director del proyecto; Natalia Laurens, Asesor

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 conclusión, el estudio permite afirmar que la canasta C, con su nodo de terminación del viaducto en la Calle 72, es la mejor alternativa porque presenta el balance más positivo entre las características diferenciadoras de las posibles soluciones. En el largo plazo, para los usuarios del metro este nodo de terminación es el que ofrece las mayores ventajas comparativas, ya que es en ese punto donde se produce y se proyecta la mayor cantidad de descensos en los sentidos S-N y N-S para la hora pico de la mañana, es decir, este nodo de terminación es un terminal natural para los usuarios que se desplazan desde el sur hacia Chapinero, así como un punto de alimentación del metro para los usuarios que llegan por las troncales de la Autonorte y Calle 80, así como la futura Carrera 7 mediante el ramal de la Calle 72. Cuando sea prolongado el viaducto hasta la Calle 127 y posteriormente hasta la Calle 170, esta característica se profundizará.

Finalmente, desde el punto de vista urbano tiene un gran potencial para coadyuvar con el desarrollo de las actividades urbanas y el desarrollo de proyectos inmobiliarios y de renovación urbana de gran envergadura, así como una buena conectividad con vías principales de la ciudad.

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

4. MODELACIÓN LA OPTIMIZACION DEL NUMERO Y POSICION DE ESTACIONES PARA LA PLMB EN LA CANASTA SELECCIONADA

Una vez definido el nodo de terminación de la línea de metro, la Secretaría Distrital de Movilidad realizó un ejercicio para optimizar la línea y la canasta seleccionadas. La optimización de la línea es fundamental para mejorar las condiciones de explotación ferroviaria y en todo caso se busca un aumento en la atractividad del sistema entendido como el conjunto de la línea ferroviaria y sus troncales alimentadoras.

Uno de los aspectos considerados para la optimización de la explotación ferroviaria es la regularidad en el distanciamiento de las estaciones y su complemento con las estaciones de TransMilenio. La SDM estimó los efectos del ajuste por disminución del número de estaciones de la PLMB y en consecuencia aumento de su interdistancia a al menos 1,3 km. Para esto, se consideraron como indicadores de evaluación:

- Carga máxima de la PLMB
- Abordajes de la PLMB
- Distancia entre estaciones y distancia máxima entre estaciones
- Demanda de las estaciones (movimientos totales)

Para cumplir con este objetivo, se modelaron diferentes escenarios en los que se modificaron la localización y cantidad de estaciones, se mantuvieron fijas las matrices de viajes (año 2030) y se consideró la siguiente oferta de TransMilenio troncal:

- a) Avenida Ciudad de Cali
- b) Avenida Boyacá
- c) Carrera 68
- d) Calle 100
- e) Carrera 7 hasta la Calle 200
- f) Avenida Gaitán Cortés
- g) Calle 63
- h) Calle 13
- i) Calle 170
- j) Calle 127
- k) Autonorte hasta la Calle 235
- l) Extensión de la Calle 80
- m) Extensión de la Caracas hasta Yomasa
- n) Avenida Villavicencio
- o) Soacha Fase 2 y 3

4.1 Escenarios modelados

A continuación se describen los escenarios modelados, escenarios que plantean la relocalización y/o eliminación de las estaciones Palenque, Santander, Nariño, Hortúa y Lima. La selección de ajuste de la ubicación o supresión de tales estaciones corresponde a criterios de proximidad entre ellas,

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

condiciones urbanísticas o los procesos de renovación urbana que, de acuerdo con lo planteado por la Secretaría Distrital de Planeación, se adelantarán en el centro de la ciudad.

Escenario	Descripción
Base	Considera las 17 estaciones de la Primera Línea de Metro contempladas en la canasta C.
a	Contempla la relocalización de la estación Santander y, en consideración de su proximidad con la estación Nariño, se elimina esta última.
b	Contempla la eliminación de la estación de la Av. Lima (Calle 19).
c	Contempla la eliminación de la estación Palenque
d	Contempla la relocalización de la estación Santander, la eliminación de la estación Nariño, la relocalización de la estación Hortúa (Estación Hospital) y la eliminación de la estación Lima
e	Contempla la relocalización de la estación Santander, la eliminación de las estaciones Palenque, Nariño y Lima junto con la relocalización de la estación Hortúa (Estación Hospital).

Tabla 29 - Descripción de escenarios modelados (Fuente: SDM)

4.2 Resultados escenarios modelados – hora pico

De acuerdo con los resultados de las modelaciones, se observa que la distancia promedio aproximada entre estaciones oscila entre 1,23 y 1,41 Km, y en ninguno de los casos supera los 2 Km. Con respecto al comportamiento de la demanda, se evidencia que la eliminación de estaciones en la Caracas genera las mayores variaciones en la demanda por ser zonas de destinos de viaje. Asimismo, los ajustes en las estaciones conducen a una mayor concentración (aumento) de la carga máxima.

	Escenario base	Escenario "a"	Escenario "b"	Escenario "c"	Escenario "d"	Escenario "e"
Distancia promedio entre estaciones (Km)	1,16	1,23	1,23	1,23	1,31	1,41
Distancia máxima entre estaciones (Km)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Abordajes totales	67330	68450	65420	67190	66340	66360
Variación abordajes totales (%)		1,66%	-2,84%	-0,21%	-1,47%	-1,44%
Carga máxima (Pas/h-sentido)	29910	31010	30200	29850	30790	30800
Variación carga máxima (%)		3,68%	0,97%	-0,20%	2,94%	2,98%

Tabla 30 - Resultados escenarios modelados (Fuente: SDM)

De otra parte, el comportamiento de los abordajes y descensos en cada una de las estaciones muestra que eliminar la estación Palenque produce un aumento significativo de la demanda (movimientos) en la estación Villablanca (Carrera 80) al pasar de cerca de 8100 movimientos en el escenario base a más de 12 000 movimientos en los Escenarios "c" y "e". Por consiguiente, para poder albergar esta nueva demanda la estación Villablanca debería proveer una capacidad similar a las estaciones donde se prevé integración con las troncales de TransMilenio.

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

Estación	Escenario base		Escenario « a »		Escenario « b »		Escenario « c »		Escenario « d »		Escenario « e »	
	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos
Avenida Cra 86 (Portal Américas)	11771	3728	12065	3800	11580	3663	11992	3912	11922	3731	12297	4055
Avenida Carrera 80 (Villablanca)	7476	646	7617	659	7534	658	11610	844	7631	678	11722	892
Calle 41 S (Palenque)	4715	480	4729	504	4728	480	0	0	4729	504	0	0
Calle 40 S (Kennedy)	5230	2695	5230	2713	5230	2695	5537	2716	5230	2713	5551	2733
Carrera 72 (Boyacá)	8381	7708	8517	7501	8285	7274	8294	7533	8345	7284	8257	7091
Carrera 68 (Av 68)	3831	6003	4024	6075	3773	5926	3940	6124	3887	6042	4002	6164
Carrera 50 (Rosario)	2990	932	3045	937	2946	933	2991	935	2995	937	2996	940
NQS	1691	2650	2309	2528	1703	2565	1693	2689	2304	2450	2306	2483
Carrera 27 (Santander)	3212	791	4696	1506	3346	933	3212	790	4772	1505	4771	1511
Carrera 18A (Nariño)	1976	757	0	0	1995	751	1966	758	0	0	0	0
Calle 3 (Hortúa) (Hospitales)	2316	1871	2529	1991	2362	1903	2318	1884	2595	2032	2594	2067
Calle 13 (San Victorino)	792	4826	774	4749	1427	6503	791	4830	1408	6552	1411	6527
Calle 17 (Lima)	1422	4457	1401	4559	0	0	1422	4466	0	0	0	0
Calle 26 (La Rebeca)	1961	4882	1948	4785	2009	5363	1955	4721	2030	5412	2027	5356
Calle 45 (Gran Colombia)	2719	5345	2713	5458	2391	5505	2722	5358	2384	5578	2385	5578
Calle 63 (Lourdes)	2353	8371	2335	8658	2130	8559	2240	8424	2108	8872	2038	8872
Calle 72 (Avenida Chile)	4492	11185	4518	12028	3977	11705	4502	11201	4003	12053	4002	12090

Tabla 31 - Ascensos y descensos por estación según escenario (Fuente: SDM)

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 vista de los resultados de demanda anteriormente mencionados y considerando los procesos de renovación urbana a adelantarse en el sector de los hospitales y el Voto Nacional, se considera viable la adopción del escenario “d”. Finalmente, se prevé que a futuro la red de transporte masivo de la ciudad incluida la PLMB del Escenario “d” podrán atender la importante demanda de transporte público en el centro de la ciudad.

El escenario “d” comprende 15 estaciones finales.

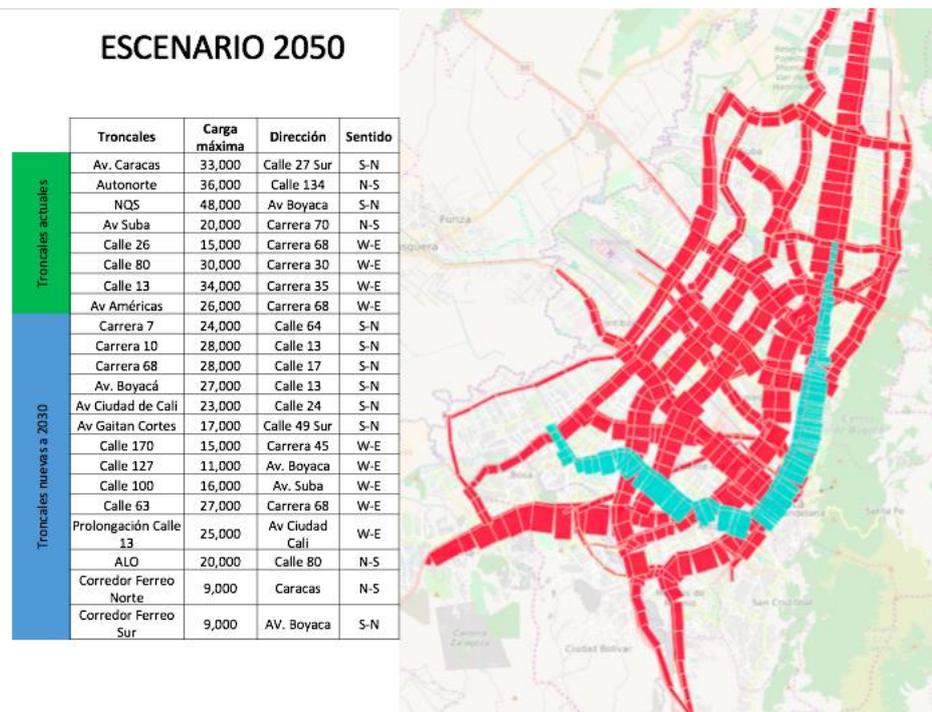


Figura 20 : diagrama de carga de la PLMB en el horizonte de largo plazo 2050 (Fuente: SDM)

5. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA CANASTA DE INVERSIÓN SELECCIONADA FRENTE AL TRAZADO ORIGINAL

El objetivo de la evaluación socioeconómica es el de determinar el beneficio que representa la inversión de la alternativa de terminación del trazado elevado hasta la Calle 72 más un paquete de troncales de TransMilenio frente a la alternativa de trazado subterráneo hasta la Calle 100, proyecto de PLMB aprobado por los gobiernos Nacional y Distrital en 2015.

Cabe anotar, que los datos de entrada de las simulaciones de transporte para la Canasta C Calle 72 y la línea de referencia subterránea hasta la Calle 100 fueron aportados por la SDM a partir de nuevas simulaciones con el modelo de transporte de cuatro etapas y un conjunto de 15 estaciones hasta la Calle 72. Estos resultados obviamente difieren parcialmente de los presentados en la comparación de las canastas de inversión, siendo más aproximados a la configuración de línea que se va a implantar.

5.1 Definición de la metodología y de los indicadores utilizados

La “evaluación económica” se interesa en todos los costos y beneficios de un proyecto para toda la economía de un conjunto (en este caso, la ciudad de Bogotá). Su objetivo principal es **determinar la rentabilidad socioeconómica global del proyecto para la sociedad entera** (es decir todos los habitantes afectados por el proyecto por igual), comparando el bienestar social que genera el proyecto con sus costos económicos y sociales. Por lo tanto, la evaluación económica tiene que considerar los flujos económicos correspondientes a los impactos del proyecto para todos los actores implicados.

Con esta metodología, es posible comparar los costos e ingresos económicos, sociales y medioambientales de varios proyectos y determinar cuál proyecto es el más rentable y si sirve adecuadamente al interés público.

5.1.1 Principios generales

El procedimiento de la evaluación consiste en identificar, cuantificar y valorar los beneficios y costos relacionados con el proyecto, para construir los flujos de fondos y obtener los indicadores tradicionales de rentabilidad como son la tasa interna de retorno (TIR), el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio/costo (B/C). Tanto los costos como los beneficios de un proyecto se generan a lo largo de un período de tiempo relativamente prolongado. Por lo tanto se tienen que tomar en cuenta a lo largo de un periodo de evaluación (usualmente entre 20 y 50 años para los proyectos de transporte colectivo), sin olvidar que:

- La cantidad de bienes y servicios envueltos suele cambiar con el tiempo. En particular, tanto los costos como los beneficios de operación tienden a aumentar con la demanda
- El valor de los bienes o servicios cambia con el tiempo, debido a los efectos de inflación, pero también a otros efectos temporales (evolución particular de ciertos precios de mercado, variación de los costos debido al envejecimiento de ciertos componentes...)

Además, con el objeto de poder consolidar estos flujos de beneficios y costos en un agregado homogéneo, es necesario realizar el proceso que suele denominarse "descontar al presente" los

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

valores en equivalentes de un año base. Varias son las razones que justifican la realización de este proceso, entre las cuales vale la pena mencionar las siguientes: el descuento puede reflejar la rentabilidad que se obtendría con la inversión en otros proyectos, o el pago por el riesgo de ahorrar, o la preferencia en el tiempo por consumir hoy frente a dejar de consumir en el futuro.

5.1.2 Principales indicadores

Los principales indicadores de la evaluación socioeconómica de un proyecto vienen dados por el Valor Presente Neto (VPN), por la Tasa Interna de Retorno (TIR) y por la relación Beneficio/Costo (B/C). Cada uno a su manera permite establecer la conveniencia o viabilidad de realizar un proyecto. Así, el Valor Presente Neto, VPN, consiste en calcular la diferencia entre los beneficios y los costos, ambos expresados en valor actual, es decir descontados con una cierta “tasa de descuento”. Si el resultado es positivo puede decirse que el proyecto es rentable, si es negativo, lo contrario.

El Valor Presente Neto, VPN, está dado por la ecuación:

$$VPN = \sum_{j=1}^n \left(\frac{B_j - C_j}{(1+t)^j} \right) + I_0$$

donde:

- B_j = Beneficios en el año j
- C_j = Costos en el año j
- I₀ = Inversión inicial
- t = Tasa de descuento
- n = duración del periodo de evaluación (en años)

Considerando que un proyecto sólo se convierte en rentable a partir del momento en que los valores actuales de los beneficios y los costos se igualan, el cálculo de la Tasa Interna de Retorno, TIR, consiste en la determinación de la tasa de descuento que hace posible esta igualdad (es decir cuando el VPN=0). También se puede interpretar la TIR como la mayor tasa de descuento que puede soportar un proyecto sin que se convierta en un proyecto no rentable.

La Tasa Interna de Retorno, TIR, viene dada como la solución t de la ecuación VPN(t) = 0, o sea :

$$0 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{B_j - C_j}{(1+TIR)^j} \right) + I_0$$

Si la TIR es superior a la tasa de descuento considerada, el proyecto es rentable. Si la TIR es inferior, no lo es. La tasa de descuento relevante para calcular el VPN (o para ser comparada con la TIR) depende de los objetivos generales del destinatario de la evaluación, y de su “preferencia por el presente”.

Finalmente, si la relación B/C es superior a 1, se estaría cumpliendo con el objetivo de maximizar los beneficios descontados sobre los costos de inversión descontados en el período de análisis.

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

5.1.3 ¿Cuál proyecto evaluar y por qué?

El análisis de costos y beneficios tiene que ver con la mejora del sistema de transporte, con la implantación del metro y la modificación de la red de troncales TransMilenio efectuada para garantizar la complementariedad con el metro. El trazado del proyecto de metro es fijado y la longitud del Tramo 1 y el nodo de terminación de este tramo han sido decididos en la estación Calle 72. La fijación de este nodo de terminación permite la ejecución de las siguientes troncales:

- Avenida 68 (Autopista Sur a Carrera 7)
- Avenida Boyacá (Autopista Sur a Calle 26)
- Avenida Ciudad de Cali (Av. Bosa a Portal de Las Américas)

Por tanto, la evaluación tiene por objetivo el comparar este escenario de nodo de terminación del Tramo 1 en la Calle 72 frente a la alternativa de trazado original aprobado en 2015 y que suponía una línea subterránea hasta la estación de la Calle 100.

Para hacer los dos escenarios comparables (línea elevada hasta Calle 72 más nuevas troncales alimentadoras y línea subterránea hasta Calle 100 sin nuevas troncales alimentadoras) bajo los mismos supuestos de crecimiento de la ciudad y condiciones de movilidad, se modelaron dos escenarios:

- Canasta C Calle 72
- Línea subterránea hasta la Calle 100

En ambos escenarios se consideró la troncal de la Carrera Séptima como parte del sistema masivo. La modelación se realizó para los horizontes de corto, mediano y largo plazo corriendo los 4 pasos del modelo con el objetivo de capturar posibles cambios modales.

A continuación se presentan las características generales de cada escenario acompañadas de los resultados de las simulaciones para tres horizontes de tiempo (2020, 2030 y 250).

5.1.3.1 Escenario línea elevada Calle72

Las cuatro etapas del modelo fueron aplicadas a la oferta de línea de metro configurada con 15 estaciones en este caso del escenario línea elevada Calle 72.

La línea elevada entre Portal Américas y Calle 72 comprende 20,1 km de longitud. Adicional a ellos se considera un ramal técnico entre el Portal Américas y el patio-taller de 5 km. Los costos de inversión son analizados en el Entregable N° 7, estimación de cronograma y presupuesto.

La siguiente figura presenta la configuración de la línea.

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

ESCENARIO Línea Elevada Calle 72



Figura 21 : Trazado del escenario línea elevada Calle 72 (Fuente: SYSTRA)

En la siguiente Tabla 32 se presentan los resultados de las simulaciones para este escenario para los horizontes de corto (2020), mediano (2030) y largo plazo (2050). Con respecto a los resultados presentados para el horizonte de 2030 y en relación a los presentados en la sección 2.4 de este informe (Tabla 8), se presentan varias diferencias originadas por las siguientes razones:

- Oferta de 15 estaciones, en vez de las 18 consideradas en el análisis del conjunto de canastas de inversión
- Utilización del modelo de 4 etapas en vez del modelo del modo público utilizado precedentemente con el objetivo de capturar cambios en la distribución modal (transferencias del modo privado al público)

En primer lugar, se presenta una disminución en la cantidad de embarques en el modo metro en la hora pico por causa de la disminución del número de estaciones (pasa de 65 593 embarques a 62 692 en las nuevas simulaciones con 4 etapas). Por el contrario, se presenta un aumento de los abordajes en el transporte público (pasa de 1 044 828 a 1 050 576). Igualmente se presenta un aumento notable de los abordajes en troncales de TM (pasando de 451 064 a 567 067 en la HP). Estos dos aumentos señalados corresponden a una mayor preferencia de los usuarios de transporte privado que cambian

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

al modo público y especialmente los que hoy utilizan los buses zonales que cambian al sistema de troncales.

Resultados para la HP (4 etapas)	Escenario línea elevada Calle 72		
	2020	2030	2050
Carga máxima metro (pphpd)	33 988	34 818	39 479
Abordajes metro	60 696	62 692	76 574
Abordajes masivo	527 356	567 067	823 231
Abordajes TransMilenio	466 660	504 375	746 657
Abordajes transporte público	959 115	1 050 576	1 514 803
Abordajes zonal	431 759	483 509	691 572
Tiempo de viaje en transporte público (horas)	562 594	740 630	1 277 719
Tiempo de viaje en auto (horas)	100 059	111 624	171 664
Tiempo total moto (horas)	35 255	38 475	66 940
Tiempo total taxi (horas)	21 930	22 584	49 641
Viajes en transporte público	649 455	731 106	1 075 794
Viajes en automóvil	199 141	231 425	336 926
Viajes en moto	90 887	97 078	140 828
Viajes taxi	50 260	50 260	65 118
Veh.kilómetro metro (1) ⁵	1 273	1 304	1 479
Veh-kilómetro TM	24 843	26 851	39 749
Veh-kilómetro buses (sin TM)	179 063	200 525	286 815
Vehiculos.km en moto	988 549	1 063 949	1 615 199
Vehiculos.km en taxi	342 405	342 405	342 405

(1) Ajustados según evolución del pphpd, circulación en el ramal técnico, maniobras y viajes en vacío

Tabla 32 - Resultados de las simulaciones de 4 etapas para el escenario línea elevada Calle 72 – Fuente: SDM.

5.1.3.2 Escenario línea subterránea Calle100

Las cuatro etapas del modelo fueron aplicadas a la oferta de línea de metro configurada con 17 estaciones en este caso del escenario línea subterránea Calle 100 (por tener mayor longitud).

La línea subterránea entre Portal Américas y Calle 100 comprende 22,9 km de longitud. Adicional a ellos se considera un ramal técnico de 5 km entre el Portal Américas y el patio-taller. Los costos de inversión son presentados en el Anexo 3 según indicadores presentados en la sección 2.4 de este informe. Cabe señalar que los costos de inversión analizados para esta línea siguen la misma metodología de estimación de costos presentada en los entregables N° 3 y N° 7, difiriendo de esta manera con los estimado por el IDU para la evaluación socioeconómica de esta línea realizada en 2014.

⁵ Cabe anotar que el cálculo de los trenes.kilómetro han incluido, a parte de la circulación de los trenes entre terminales, la circulación de los mismos para realizar las maniobras a la salida de los terminales y los viajes en vacío que normalmente se producen en un sistema. Según la experiencia de SYSTRA, estos últimos corresponden a un 20% de los trenes.kilómetro entre estaciones terminales. Adicionalmente se han considerado los trenes.km producidos a lo largo de los 5 km del ramal técnico.

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

La siguiente figura presenta la configuración de la línea.

ESCENARIO Línea Subterránea Calle 100

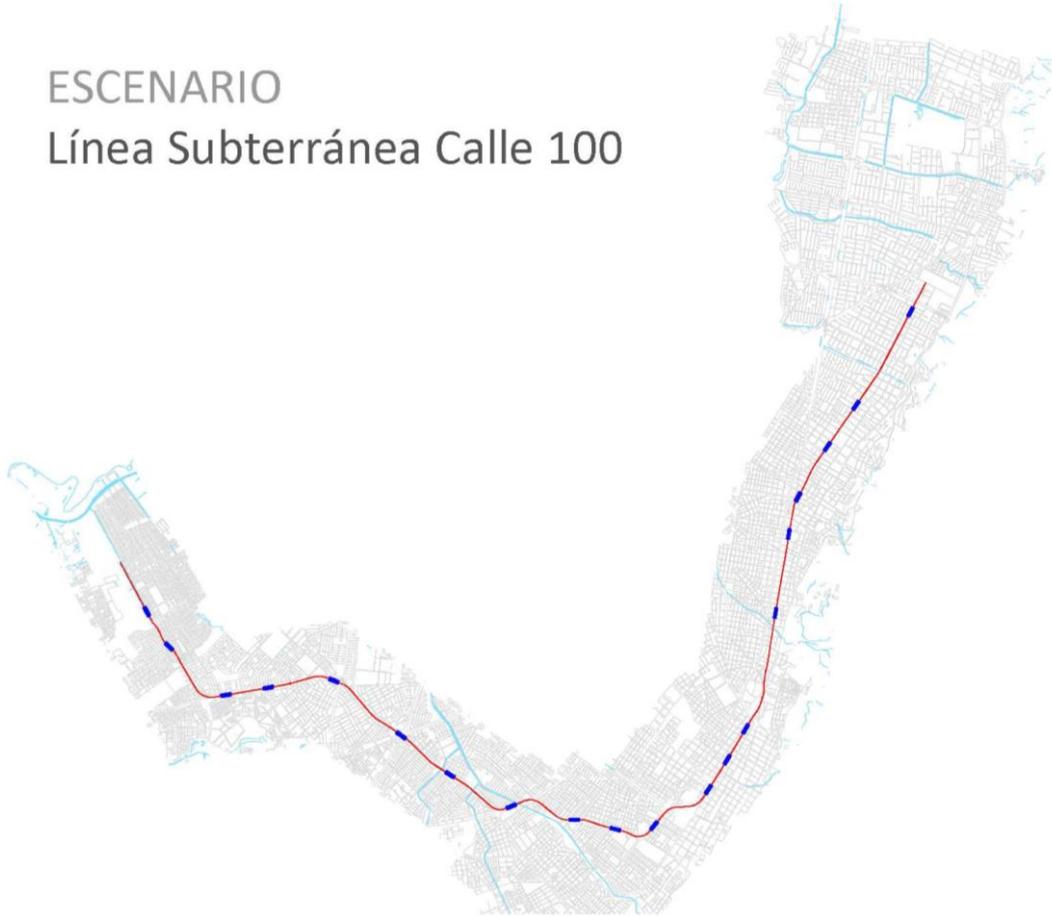


Figura 22 : Trazado del escenario línea subterránea Calle 100 (Fuente: SYSTRA)

La siguiente tabla presenta los resultados de las simulaciones para este escenario.

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

Resultados para la HP (4 etapas)	Escenario línea subterránea Calle 100		
	2020	2030	2050
Carga máxima metro (pphpd)	43 612	46 041	61 951
Abordajes metro	68 367	71 117	87 186
Abordajes masivo	438 843	472 187	688 358
Abordajes TransMilenio	370 476	401 070	601 172
Abordajes transporte público	924 315	1 011 397	1 435 351
Abordajes zonal	485 472	539 210	746 993
Tiempo de viaje en transporte público (horas)	574 710	756 615	1 309 009
Tiempo de viaje en auto (horas)	100 301	112 494	178 526
Tiempo total moto (horas)	35 579	38 815	68 228
Tiempo total taxi (horas)	22 039	22 777	50 369
Viajes en transporte público	649 455	730 678	1 069 650
Viajes en automóvil	198 879	231 469	340 915
Viajes en moto	91 149	97 442	142 885
Viajes taxi	50 260	50 280	65 216
Veh.kilómetro metro (1)	1 672	1 765	2 375
Veh-kilómetro TM	31 302	33 887	50 794
Veh-kilómetro buses (sin TM)	200 427	222 613	308 396
Vehiculos.km en moto	993 851	1 071 486	1 647 136
Vehiculos.km en taxi	342 405	342 405	342 405

(1) Ajustados según evolución del pphpd, circulación en el ramal técnico, maniobras y viajes en vacío

Tabla 33 - Resultados de las simulaciones de 4 etapas para el escenario línea subterránea Calle 100– Fuente: SDM

5.2 Tipo de evaluación

Un análisis de costos y beneficios puede ser detallado por actores (típicamente, los usuarios, el operador, el gobierno) o ser realizada únicamente a la escala de la sociedad. En este estudio, no se necesita el detalle por actores. De esta manera, es conveniente tener en consideración que ciertos flujos económicos corresponden a “intercambios” entre diferentes actores del sistema y no representan flujos netos (pues tienen una suma neta nula cuando se añaden los flujos de todos los actores para calcular el resultado para la sociedad entera). Es el caso por ejemplo de:

- El precio de los boletos, que son costos para los usuarios e ingresos para el operador (de la misma manera, los ingresos de publicidad son costos para los anunciantes)
- Las tasas e impuestos, que son costos para los contribuyentes e ingresos para el Gobierno o las municipalidades
- Los flujos de financiamiento (servicio de la deuda, subsidios, flujos de capital privado e dividendos...), que son intercambios monetarios entre dos partes

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

5.3 Elementos considerados en la evaluación

Los costos y beneficios netos del proyecto que se cuantifican en este ejercicio son:

- Los costos de inversión de la mejora del sistema de transporte, con la implantación del metro y la modificación de la red de buses troncales (inversión inicial y renovación);
- Los costos de operación y mantenimiento del metro y de la red de buses y TransMilenio (infraestructura, equipamiento y material rodante);
- Los beneficios para los usuarios de los transportes en Bogotá, que sean usuarios actuales de los transportes públicos, nuevos usuarios de los transportes públicos gracias a la implementación del proyecto, o bien usuarios de los transportes privados. Estos beneficios se miden según:
 - tiempo economizado por los usuarios de los transportes públicos gracias a mejora del sistema de transporte. Se compara el tiempo de trayecto antes y después de la mejora,
 - beneficios globales para los usuarios transferidos desde el automóvil hasta el sistema de transporte colectivo gracias al proyecto. Estos beneficios son calculados con los beneficios de los antiguos usuarios de los transportes públicos,
 - tiempo economizado por los usuarios de los transportes privados gracias a la descongestión vial
- Los beneficios económicos correspondiente a la reducción de la accidentalidad, debida a una reducción de las circulación general
- Los beneficios medio-ambientales: reducción de la contaminación atmosférica local y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (balance carbono), reducción del ruido.

Estos son los aspectos cuantificados y valorados en la evaluación. Cabe mencionar que estos son los principales beneficios de los proyectos de transporte, usualmente estos representan el 95% del total. Otros aspectos podrían estudiarse (ahorros en costos de mantenimiento de la vialidad, impacto urbanístico e inmobiliario, etc.) pero no cuentan con datos de entrada disponibles.

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

5.4 Hipótesis generales para la evaluación socioeconómica

5.4.1 Cronograma de implementación del proyecto

El año de puesta en servicio del Tramo 1 de la PLMB depende del avance en la construcción del conjunto de canastas de troncales. Para el caso de la canasta C Calle 72 se prevé una puesta en servicio en 2022. Para esa fecha, el conjunto de troncales alimentadoras previstas más las adecuaciones de las troncales Caracas y Villavicencio deberán estar también concluidas. El año base de descuento es el año anterior al primer año de operación de la PLMB más el conjunto de troncales de TransMilenio en 2021. En consecuencia, el 2020 es determinante para el cálculo del Valor Presente Neto (VPN).

5.4.2 Periodo de evaluación

Se suele definir el periodo de evaluación en función la duración de vida económica del proyecto. Esta última se calcula como la duración de vida útil promedio de los diferentes activos que componen el sistema, o como la duración de vida útil de los componentes de mayor inversión.

En este caso, en función de las características de los diferentes componentes, se ha definido la duración de vida económica del proyecto en 30 años a partir del año de entrada en operación del sistema, es decir que el periodo de evaluación es entre 2030-50. Elegir este periodo de evaluación permite incluir los tres horizontes de simulación realizados por la SDM.

5.4.3 Tasa de descuento socioeconómica

Para efectuar el proceso de descuento es necesario seleccionar una tasa socioeconómica de descuento (o “Tasa Social de Descuento”, TSD) anual que sea la más apropiada.

En Colombia, existe una tasa social de descuento oficial que es determinada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP). El DNP ha indicado en 2013 que la Tasa Social de Descuento está definida en 12% para todos los proyectos de inversión pública en las evaluaciones económicas y sociales⁶. No obstante, para la evaluación de proyectos de mejoras de las infraestructuras de transporte el propio DNP está considerando últimamente una tasa de descuento de 9,3%.

Por tanto, el Comité de Seguimiento de la Consultoría (CSC) ha fijado esta tasa de descuento para la elaboración de este análisis socioeconómico

Esta tasa de descuento fijada para el análisis se aproxima a lo comúnmente utilizado en Chile, país con un contexto macroeconómico similar al de Colombia. La siguiente tabla muestra un comparativo de las tasas sociales de descuentos oficiales vigentes en Latinoamérica:

⁶ Dirección de Inversiones y Finanzas Públicas, Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2013). Manual de Soporte Conceptual Metodología General para la Formulación y Evaluación de Proyectos

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

País	Tasa social de descuento	Referencias
Argentina	12%	Resolución N° 110/96 de la Secretaría de Programación Económica (1996)
Bolivia	12%	Ministerio de Hacienda, Resolución No. 684, (2002)
Chile	8%	Precios Sociales para la evaluación de los proyectos. SEBI (2006)
México	12%	Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los proyectos de inversión. SHCP – (2005)
Perú	14%	Anexo SNIP 09: Parámetros de Evaluación, La Tasa Social de Descuento, Informe Final (2000)
Uruguay	12%	Los Parámetros Nacionales de Cuenta en el Uruguay, Presidencia de la República, Oficina de Planeamiento y Presupuesto (1986)
BID-Banco Mundial ⁷ .	10-12%	Según sector de infraestructura para países en desarrollo

Tabla 34 - Tasas social de descuento (TSD) vigentes en Latinoamérica – Fuente: SYSTRA.

5.4.4 Hipótesis sobre la demanda de transporte

Las simulaciones realizadas para la ciudad de Bogotá por la SDM con la utilización del modelo de 4 etapas ofrecen datos sobre la demanda de transporte para todos los horizontes con proyecto, es decir 2020, 2030 y 2050. Igualmente fue tomada información de la demanda de transporte del escenario sin proyecto para cada uno de los tres horizontes de simulaciones anteriormente realizadas por la SDM. Sobre el escenario sin proyecto, el Consultor hizo un tratamiento de proyecciones de los veh.km para ajustarlos a la evolución de la demanda. Para el caso de los veh.km de metro, el Consultor realizó una adecuación de su cantidad según la evolución del pphpd en cada horizonte.

Los datos que la evaluación socioeconómica necesita son:

- Viajes en transporte público
- Viajes en transporte privado
- Vehículos*km en transporte privado
- Vehículos*km en buses (sin TransMilenio)
- Vehículos*km en TransMilenio
- Vehículos*km en metro
- Tiempo promedio de viaje en transporte público
- Tiempo promedio de viaje en transporte privado

En el transporte privado se incluyen los vehículos privados así como a los taxis y las motos. Estos datos son obtenidos en la situación de referencia (sin el proyecto) y en la situación con proyecto para los tres horizontes utilizados en la modelación.

En la evaluación socioeconómica, es necesario tener los datos de tráfico en valores anuales, por tanto los datos obtenidos del proceso de modelación que corresponden a la hora pico representativa de la

⁷ Ver: BELLI, P. et al (1998). *Handbook On Economic Analysis Of Investment Operations*

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

ciudad de Bogotá son llevados al día y luego al año utilizando el factor de 10 para el primer paso y 300 días regulares para el segundo paso.

Gracias a estos datos proporcionados por la SDM, se pueden reconstituir los tráficos en cada año del periodo de evaluación tomando como referencia los resultados para los horizontes 2020, 2030 y 2050. La reconstitución de la evolución de los resultados se establece con una relación del tipo: $\text{demanda(año)} = (\text{demanda(2030)} - \text{demanda(2020)}) / (2030 - 2020) * (\text{año} - 2020) + \text{demanda(2020)}$.

5.4.5 Hipótesis macroeconómicas

5.4.5.1 PIB, población e inflación

Para obtener los valores requisitos para la evaluación socioeconómica para cada año del periodo de la evaluación, se necesitan considerar hipótesis macro-económicas sobre:

- El valor del Producto Interior Bruto (PIB) y su evolución
- La población y su evolución
- La inflación

El consumo final de los hogares *per cápita* es muy utilizado también para hacer evaluaciones socioeconómicas. Se supone que este valor es proporcional al PIB *per cápita*, lo que significa que evoluciona como el PIB *per cápita*. Hasta 2021, se han tomado las proyecciones oficiales del Fondo Monetario Internacional (FMI) para el PIB, la población y la inflación de la Colombia:

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PIB (billones de COP)	756 152	779 454	798 955	822 672	853,278	888 683	926 456	963 432
Población (millones de personas)	47,66	48,20	48,75	49,30	49,86	50,43	51,00	51,58
Evolución del PIB (precios constantes)	4,39%	3,08%	2,50%	2,97%	3,72%	4,15%	4,25%	3,99%
Evolución de la población	1,15%	1,14%	1,13%	1,13%	1,14%	1,14%	1,14%	1,13%
Inflación	3,66%	6,77%	5,29%	3,33%	3,00%	3,00%	3,04%	3,04%

Tabla 35 - Hipótesis macro-económicas en Colombia para el periodo 2014-2021 - Fuente: FMI.

No existen proyecciones detalladas a más largo plazo. Así, sobre la base de los “*World Urbanization Prospects*” (WUP) de las Naciones Unidas⁸ y de un estudio preparado por PWC (Pricewaterhouse Cooper, empresa de servicios en auditoría, asesoramiento fiscal y legal, consultoría y transacciones)⁹, se proponen estas variaciones para las variables macroeconómicas de Colombia en el largo plazo:

⁸ Ver <https://esa.un.org/unpd/wup/>

⁹ PWC (2013). El Mundo en el 2050: oportunidades y desafíos

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

Periodo	2022-2030	2030-2050	2050-2070
Evolución del PIB (precios constantes)	4,28%	4,07%	1,87%

Tabla 36 - Evolución del PIB para el periodo 2022-2070 (fuente: PWC, elaboración: SYSTRA)

Periodo	2022-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2050-2055
Evolución de la población	0,96%	0,81%	0,67%	0,53%	0,41%	0,30%	0,09%

Tabla 37 - Evolución de la población para el periodo 2022-2055 (fuente: Naciones Unidas, elaboración: SYSTRA)

Para la inflación, no se cuentan con datos oficiales de proyecciones a largo plazo por tanto se propone seguir la tendencia del FMI con una inflación anual de 3,04% hasta el final del período de análisis.

5.4.5.2 Unidad monetaria

El análisis de costos y beneficios es realizado en pesos colombianos, en valores constantes del año 2014. Se elige este año de referencia porque es la última completamente estabilizada en las estadísticas. Para realizar cálculos socioeconómicos más precisos, los resultados en pesos de 2014 deben ser utilizados. Sin embargo, todos los resultados están también convertidos en valores constantes del año 2016, para mejorar la comprensión del lector con respecto a las recientes devaluaciones monetarias. De esta manera, las tasas de cambio consideradas en el estudio son las siguientes:¹⁰

Tasa de cambio	1 € = - COP	1 USD = - COP
2014 (a la fecha del 01/01/2014)	2 637,26	1 919,00
2016 (a la fecha del 01/01/2016)	3 452,60	3 179,65

Tabla 38 - Tasas de cambio utilizadas como referencia en la evaluación

Después de 2016, no existen informaciones fiables sobre las tasas de cambio. Así, las tasas de 2016 se consideran constantes a lo largo del periodo de evaluación. Para convertir valores corrientes o valores constantes con otro año de referencia, se utiliza la inflación en Colombia.

5.4.6 Costos de inversión

Los costos de inversión incluyen la inversión inicial y las renovaciones. Las renovaciones ocurren al final de la vida útil de cada activo. Al final de período de la evaluación socioeconómica, los activos pueden tener todavía un período adicional de vida útil. La valoración de estas vidas útiles residuales se llama

¹⁰ Ver <http://www.xe.com/fr/currencytables/>

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 “valor residual de las inversiones” y es tratada en la evaluación. Suponiendo que todo es producido en Colombia, la evolución de los costos de construcción sigue la inflación del país.

5.4.6.1 Costos de inversión PLMB hasta Calle 72 elevada y Calle 100 subterránea

La siguiente tabla presenta sintéticamente los costos de inversión de la canasta elegida (C Calle 72) y la alternativa base de referencia (línea de metro subterránea hasta Calle 100). Cabe destacar que al momento de la cuantificación de estos costos de inversión, la PLMB Calle 72 consta de 15 estaciones.¹¹

CANASTAS	C	G
Precios de mercado por partida de gasto en millones de pesos corrientes 2016 (sin AIU)	PLMB elevada hasta Calle 72	PLMB subterránea hasta Calle 100¹²
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN		
Obra civil línea (viaducto, ramal técnico, nodo terminación)	2 328 926	3 033 412
Sistema ferroviario	858 981	1 009 619
Material rodante	984 375	1 587 600
Estaciones	923 040	3 369 681
Talleres y cocheras	442 260	442 260
Urbanismo y paisajismo	245 423	288 463
Obras civiles adicionales (redes y estructuras varias)	214 745	252 405
OTROS COSTOS		
Manejo ambiental y social	187 430	311 982
Desvíos y manejo de tráfico	299 888	499 172
Predios y legalización	458 221	848 498
Estudios, diseños y asistencias técnicas	299 888	499 172
Interventoría fase de obra	374 859	623 965
ADECUACION TRONCALES DE TRANSMILENIO Y NUEVAS TRONCALES ALIMENTADORAS		
Reconfiguración de troncales Caracas y Villavicencio y nuevas troncales Av. 68 (AutoSur a Carrera 7), Av. Boyacá (AutoSur a Carrera 7) y Av. Ciudad de Cali (Bosa a Portal de Las Américas)	3 842 625	75 000

Tabla 39 - Detalle de los costos de inversión por canasta, precios de mercado en millones de pesos corrientes 2016, sin A.I.U. - Fuente: estimaciones SYSTRA

Para convertir los precios de mercado del presupuesto estimado para la Canasta C Calle 72 a precios económicos se han utilizado las siguientes razones de precio de cuenta para el desarrollo de un sistema metro y de esta manera no contabilizar las transferencias internas entre sectores económicos (impuestos, subsidios).

¹¹ Se han eliminado tres estaciones en comparación a las consideradas en el análisis comparativo entre todas las canastas

¹² Ver detalle en el Anexo 2

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

COMPONENTES DE INVERSIÓN FERROVIARIA	% SOBRE EL COSTO	RPC
INFRAESTRUCTURA PROYECTO FERROVIARIO		
- Obras civiles	80,0%	0,9100
- Mano de obra calificada	12,6%	0,9700
- Mano de obra no calificada	7,4%	0,6500
RPC resultante	100%	0,8983
EQUIPAMIENTOS PROYECTO FERROVIARIO		
- Mano de obra nacional (instalación)	11,6%	0,9700
- Mano de obra internacional (instalación)	7,8%	1,0000
Equipo nacional	8,8%	0,9500
Equipo importado	71,8%	1,0000
RPC resultante	100%	0,9921
OTROS COSTOS		
Manejo ambiental y social	11,6%	0,6800
Desvíos y manejo de tráfico	18,5%	0,6800
Predios y legalización	28,3%	1,0000
Estudios, diseños y asistencias técnicas	18,5%	0,6800
Interventorías fase de obra	23,1%	0,6800
RPC resultante	100%	0,7705
TOTAL		0,8938

Tabla 40 - Razones de precio de cuenta utilizadas en el componente inversiones ferroviarias - Fuente: Metro de Caracas, Manual de Sistemas y Procedimientos del Sistema Nacional de Inversión Pública, CORDIPLAN (2005) y Evaluación Expost, Sistema de transporte masivo de Bogotá (2009)

Finalmente, los costos económicos usados en el análisis de costos y beneficios son los siguientes:

CANASTAS	C	G
	PLMB elevada hasta Calle 72	PLMB elevada hasta Calle 100
Precios por partida de gasto en millones de pesos constantes 2014		
Obra civil del Metro	3 559 218	6 300 865
Obra civil del TransMilenio	3 070 470	59 929
Sistema ferroviario y material rodante	1 626 748	2 292 025
Estudios	186 729	310 816
Predios y legalización	285 318	528 329
Otro costos relacionados con el Metro	350 117	582 780
TOTAL	9 078 599	10 074 744

Tabla 41 - Resumen de los costos de inversión sociales usados en el análisis económico - Elaboración: SYSTRA.

5.4.6.2 Cronograma de la inversión inicial

Para cada escenario, el calendario de la inversión inicial depende de la composición de la canasta según longitud de la línea de metro y combinación de las troncales de TransMilenio. Este periodo sería de

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

aproximadamente seis años antes del inicio de las operaciones contando con el período de ejecución de la pre-inversión. Se toman las siguientes premisas para el cronograma:

- La inversión de la obra civil del Metro, de los predios y de la legalización, y los otros costos relacionados con el Metro son distribuidos igualmente a partir de 2018 y hasta el año anterior de puesta en servicio;
- La inversión en TransMilenio dura de 2018 hasta 2020 y los costos son pagados igualmente durante estos tres años;
- Los costos para el sistema ferroviario y el material rodante son pagados igualmente durante los dos años antes de la puesta en servicio;
- Los estudios son realizados y pagados en 2017.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Obra civil del TransMilenio		33%	33%	33%		
Estudios	100%					
Si el año de puesta en servicio es 2023						
Obra civil del Metro						
Predios y legalización		20%	20%	20%	20%	20%
Otros costos relacionados con el Metro						
Sistema ferroviario y material rodante					50%	50%

Tabla 42 - Hipótesis sobre la distribución de la inversión inicial - Elaboración: SYSTRA

5.4.6.3 Vida útil de los activos

Las hipótesis de vida útil de las categorías de activos del sistema de metro y de la red de TransMilenio son determinadas con base en experiencias de sistemas de transporte existentes y son agrupadas así:

Partida de gasto	Vida útil (años)
Costos de construcción y suministro - Metro	
Obra civil línea	50
Sistema ferroviario	50
Material rodante	30
Estaciones	50
Talleres y cocheras	30
Urbanismo y paisajismo	50
Obras civiles adicionales	50
Costos - mejora de troncales de TransMilenio	
Obra civil de nuevas troncales ¹³	20

Tabla 43 - Vida útil por partida de gasto - Elaboración: SYSTRA

¹³ Se considera este período de vida útil de las obras civiles de nuevas troncales TM en concordancia con la calidad de construcción que deben tener para ser alimentadoras del sistema metro

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

De esta manera en el periodo de análisis propuesto de 30 años, las troncales de TransMilenio tendrán al menos una renovación de sus obras civiles.

5.4.6.4 Renovaciones

Se supone que los costos de renovación son los mismos que los costos de inversión inicial con las condiciones económicas actuales (es decir que los costos de renovaciones son superiores en precios nominales, debido a la inflación).

La duración de las renovaciones consideran además un año adicional para el pago de las mismas e intervienen al año posterior al final de la vida útil. Por ejemplo, un activo con una vida útil de 30 años puesto en servicio en 2022 tiene renovaciones en 2053.

Los costos de renovación del material rodante del metro no son calculados como los otros costos de renovación porque están directamente integrados en los costos de operación y mantenimiento (véase más adelante).

5.4.7 Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento de los varios modos del sistema de transporte y de su infraestructura son estimados a lo largo de la vida del proyecto. Estos costos incluyen costos de personal, de materiales y de energía.

TransMilenio ha informado sus costos de operación y mantenimiento en 2016 para los buses SITP y los que pertenecen al sistema de troncales. Para el mantenimiento ordinario de la infraestructura del TransMilenio, se ha supuesto que el costo es el 2% de la inversión inicial y es pagado cada año de servicio.

Para el sistema metro, se utilizan costos de operación y mantenimiento de estudios anteriores de metros en América Latina realizados por SYSTRA (Ver Anexo 4)¹⁴. Estos costos incluyen (por vagón.km):

- Los costos de personal (operación y mantenimiento, de apoyo, de limpieza y de seguridad)
- el costo de mantenimiento ordinario del material rodante;
- el costo de renovación de media vida del material rodante;
- el costo de mantenimiento de la vía férrea, señalización, telecomunicaciones, electrificación, corrientes débiles)
- el mantenimiento ordinario de la infraestructura del metro (estaciones, edificaciones y estructuras);
- el consumo de energía eléctrica;
- costos de administración, seguros
- costos de renovación del material rodante que llega al fin de su vida útil

¹⁴ SYSTRA (2012). Estudio de factibilidad para un sistema metro en el Área Metropolitana de Lima-Callao
SYSTRA (2008). Estudio de política tarifaria, sistemas tarifarios, sistemas de compensación y mecanismos de financiamiento, aplicables a los sistemas de transporte masivo en Venezuela (metro de Caracas, Metro de Los Teques, Metro de Maracaibo, Metro de Valencia, Tren de Cercanías Caracas-Cua

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

Se distinguen costos para un metro subterráneo y para un metro elevado. En términos de USD son 4,78/vagón.km con conductores para un metro elevado y de 4,96/vagón.km con conductores para un metro subterráneo. En el escenario sin conductores, son 4,56 USD/vagón.km para el metro elevado. La siguiente tabla presenta el resumen de los costos de operación para los modos carreteros y ferroviarios del proyecto en pesos de 2014 y 2016.

	Costo sin impuestos por veh*km	
	En pesos 2016	En pesos 2014
Bus (bus.km)	5 800	5 159
TransMilenio (bustroncal.km)	6 800	6 049
Metro subterráneo con conductores	94 626	84 172
Metro elevado con conductores	91 192	81 117

Tabla 44 - Costos de operación y mantenimiento (sin mantenimiento de la infraestructura) para los transportes públicos en Bogotá - Elaboración: SYSTRA

5.4.8 Beneficios para los usuarios

La mejora de la red de transporte de Bogotá conduce a beneficios para todos los usuarios de los transportes en Bogotá, sea de transporte público o privado:

- Los antiguos usuarios de los transportes públicos (usuarios antes del proyecto) como los nuevos usuarios van a economizar tiempo gracias a la implantación del metro y la mejora de la red de buses y troncales de TransMilenio
- Los usuarios transferidos desde el automóvil hasta el sistema de transporte colectivo gracias al proyecto tienen beneficios globales
- La vialidad utilizada por los usuarios de los transportes privados será descongestionada y estos usuarios también van a economizar tiempo

Todos estos beneficios están relacionados con el tiempo economizado por los diferentes usuarios. Se suele valorar el beneficio económico asociado a esta reducción del tiempo de viaje gracias a un valor llamada “valor de tiempo”. Concretamente, el valor de tiempo es el precio que los usuarios están dispuestos a pagar para economizar una hora de viaje.

En este análisis de costos y beneficios, un valor de tiempo común a todos los usuarios es utilizado: 7 991 pesos por hora¹⁵. Este valor expresado en pesos de 2013, se convierte a pesos de 2014 (8 155 pesos por hora) y a pesos de 2016 (9 026 pesos por hora). Como hipótesis, se adopta que el valor del tiempo evoluciona con el Producto Interior Bruto (PIB) per cápita con una elasticidad de 0,7.

¹⁵ Secretaría Distrital de Movilidad, SD&G (2013). Elaboración de los estudios, diseños y estructuración técnica, financiera y legal del proyecto cobros por congestión para la ciudad de Bogotá. D.C

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

Las simulaciones realizadas por SDM proporcionan la información sobre el tiempo promedio de viaje en transporte público y privado. Con estos datos, se deduce el tiempo economizado por:

- Los usuarios de los transportes públicos antes y después el proyecto;
- Los usuarios de los transportes privados antes y después el proyecto.

Clásicamente¹⁶, la valorización de los ahorros de los nuevos usuarios de los transportes públicos es calculada a partir de la ganancia de los antiguos usuarios de este modo de esta manera:

- Se calcula el ahorro promedio para los antiguos usuarios en TP (los usuarios cautivos)
- Se toma el ahorro promedio de los nuevos usuarios igual a ½ del ahorro promedio de los antiguos usuarios
- Para calcular los ahorros totales para todo tipo de usuario, se multiplica el número de usuarios de cada categoría por el ahorro promedio de cada categoría

5.4.9 Reducción de la accidentalidad

5.4.9.1 Valores tutelares de la inseguridad

Mejorar el sistema de transporte implica una reducción de la circulación del automóvil y así una reducción de la inseguridad vial. En la evaluación socioeconómica, la reducción de muertos, heridos y daños materiales debida al proyecto evaluado es valorizada.

Se utilizan los valores tutelares recientes para la ciudad Bogotá dados en la evaluación Ex-Post del TransMilenio¹⁷. Estos valores son válidos en 2008 y evolucionan con el PIB per cápita.

	Valor en 2008 (pesos 2008)	Valor en 2008 (pesos 2014)	Valor en 2008 (pesos 2016)
Muerto - valor estadística de la vida	1 800 817 119	2 210 152 579	2 446 147 166
Herido	25 549 379	31 356 891	34 705 102
Daños materiales por accidente	2 828 787	3 471 786	3 842 495

Tabla 45 - Valores tutelares de la inseguridad para Bogotá en pesos 2008, 2014 y 2016 - Fuente: evaluación Ex-Post del TransMilenio, elaboración: SYSTRA

5.4.9.2 Número de daños por viaje

El reporte anual de la movilidad de la ciudad de Bogotá (versión de 2014)¹⁸ aporta muchas informaciones sobre la movilidad en la ciudad y particularmente sobre la accidentalidad.

¹⁶ SNCF Réseau RFF (2016). *Référentiel pour le calcul socio-économique*

¹⁷ Departamento Nacional de Planeación (2009). *Evaluación Ex-Post - Sistema de Transporte Masivo de Bogotá, Fases I y II - Informe 3*

¹⁸ Observatorio de Movilidad (2014). *Reporte anual de Movilidad en Bogotá*

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

Gracias a este reporte y con el conocimiento del Consultor sobre esta temática en Francia, se puede deducir el número de daños por viaje:

	Numero per millones de viajes en transporte	
	Privado	Publico (sin metro)
Muerto	0,76	0,02
Herido	7,09	0,85
Daños materiales per accidente	35,75	7,17

Tabla 46 - Hipótesis sobre el número de daños per viaje - Fuente: reporte anual de la movilidad de Bogotá en 2014, elaboración: SYSTRA.

Estos valores, combinados con los resultados de las simulaciones de la SDM permiten estimar los ahorros engendrados por el proyecto de mejora del sistema de transporte.

5.5 Beneficios medio-ambientales

5.5.1 Reducción de la contaminación atmosférica local

La contaminación atmosférica local depende, entre otras fuentes, del tráfico vehicular. Los vehículos corresponden a lo que se denomina “fuentes móviles” y generan una cantidad de contaminación según la distancia recorrida.

El costo de la contaminación atmosférica por tipo de vehículo asociado a la cantidad de contaminante emitido es estimado en Francia con valores de referencia según la densidad urbana y por vehículo.km¹⁹. Los resultados son ajustados con un ratio del consumo final de los hogares per cápita en Francia y en Colombia, lo que significa un ratio del PIB per cápita en Francia y en Colombia. Estos valores son válidos en 2010 y evolucionan, según las hipótesis francesas, a la par del PIB per cápita y una reducción de 6% por año de 2010 hasta 2020 para traducir la evolución del parque automotor (ver metodología de estimación del costo de la contaminación atmosférica en el Anexo 5).

	Precio en 2010 por vehículo*kilómetro		
	En euros 2010 en Francia ²⁰	En pesos 2014 en Colombia	En pesos 2016 en Colombia
Vehículo privado	4,30	2 227	2 465
Bus o TransMilenio	24,80	12 845	14 217

Tabla 47 - Hipótesis de precio asociado a la cantidad de contaminante emitida por tipo de vehículo en Colombia - Fuente: valores de referencia en Francia, elaboración: SYSTRA.

¹⁹ Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (2016). Fiches outils pour le calcul socio-économique. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-fiches-outils-du-referentiel-d.html>.

²⁰ Valores para un medio urbano denso. Se toma esta escala de densidad porque el nivel muy denso tiene valores demasiado altos que pueden distorsionar los resultados de la evaluación favoreciendo la situación con proyecto

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

Con los resultados en vehículos*kilómetros de las simulaciones de la SDM, se puede estimar la cantidad de contaminación ahorrada y valorizarla para la canasta en análisis.

5.5.2 Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

Además de la contaminación atmosférica local, los vehículos emiten gases de efecto invernadero. Estos otros contaminantes son generalmente convertidos a cantidad de CO₂ equivalente, el cual se puede valorizar. Se utiliza la metodología COPERT III²¹ que es clásica en Francia y que deduce el consumo de carburante asociado a la velocidad por tipo de vehículo. Su fórmula para los vehículos ligeros es:

$$\text{Consumo de carburante} = 0.1381 - 2.34 \times 10^{-3} \times \text{velocidad} + 1.6 \times 10^{-5} \times \text{velocidad}^2$$

Y para los buses y TransMilenio, que son asimilados a camiones es:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de carburante} \\ = 0.8248 - 2.084 \times 10^{-2} \times \text{velocidad} + 2.57 \times 10^{-4} \times \text{velocidad}^2 - 1 \times 10^{-6} \\ \times \text{velocidad}^3 \end{aligned}$$

Los documentos referenciales en Francia²² dan también la cantidad de CO₂ emitida por litro de carburante por tipo de vehículo, el precio del kilo de CO₂ en Francia en 2010 y su evolución.

Para Bogotá, se elige el valor de 2,24 kilo de CO₂ por litro. El precio del kilo de CO₂, después ajuste con un ratio del consumo final de los hogares per cápita en Francia y en Colombia, es de 16 575 pesos de 2014, sean 18 345 pesos de 2016. Este precio aumenta un 5,86% por año hasta 2030 y de 4,50% después de este horizonte.

	Velocidad (km/h)	Consumo de carburante (l/km)	Precio de 2010 (COP de 2014 por veh*kkm)	Precio de 2010 (COP de 2016 por veh*kkm)
Vehículo privado	20	0,0977	3,63	4,02
Bus	18	0,5271	16,30	18,04
TransMilenio	26	0,4391	19,57	21,66

Tabla 48 - Hipótesis sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (fuente: metodología COPERT y valores de referencia en Francia, elaboración: SYSTRA)

Como hipótesis, se adopta la velocidad media para los vehículos particulares de 20 kilómetros por hora para incluir el efecto de la congestión vial. El reporte anual de la movilidad en Bogotá²³ da los valores de velocidad media por los buses y los TransMilenio. Con los resultados en vehículos*kilómetros de las simulaciones de la SDM, se puede entonces valorizar las variaciones de las emisiones de CO₂ entre la canasta Calle 72 y la alternativa de referencia.

²¹ Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (2016). Fiches outils pour le calcul socio-économique. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-fiches-outils-du-referentiel-d.html>

²² Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (2016). Fiches outils pour le calcul socio-économique. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-fiches-outils-du-referentiel-d.html>

²³ Observatorio de Movilidad (2014). Reporte anual de Movilidad en Bogotá

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

5.5.3 Reducción del ruido

Para estimar el beneficio de la reducción del ruido, se toman los valores de referencia de Francia, que son ajustados con un ratio del consumo final de los hogares per cápita en Francia y en Colombia. El valor para los camiones es usado para los buses. Los valores calculados son válidos en 2010 y evolucionan con el PIB per cápita (ver metodología de estimación del costo de la contaminación sónica en el Anexo 6).

	Precio en 2010 per 1000 vehículos*kilómetros		
	En euros 2010 en Francia	En pesos 2014 en Colombia	En pesos 2016 en Colombia
Vehículo privado	2,28	1 181	1 307
Bus o TransMilenio	22,80	11 810	13 071

Tabla 49 - Hipótesis de precio asociado al ruido emitido por tipo de vehículo en Colombia (fuente: valores de referencia en Francia, elaboración: SYSTRA)

5.6 Resultados de la evaluación

5.6.1 Tasa interna de retorno y valor presente neto

Los indicadores principales del análisis de costos y beneficios son agrupados en la tabla siguiente:

ESCENARIOS	C	F
	PLMB elevada hasta calle 72	PLMB subterránea hasta Calle 100
Valor Presente Neto en millones de pesos 2014	6 892 596	-3 604 041
Valor Presente Neto en millones de pesos 2016	7 748 674	-4 051 672
Tasa Interna de Retorno	14,6%	6,0%
Costos en millones de pesos 2014	13 492 064	13 821 613
Beneficios en millones de pesos 2014	24 099 761	13 521 411
Costos en millones de pesos 2016	15 167 812	15 538 292
Beneficios en millones de pesos 2016	27 093 013	15 200 805
Beneficios/Costos	1,79	0,98
Inversión en millones de pesos 2014	9 573 310	9 950 032
Inversión en millones de pesos 2016	10 762 339	11 185 852
VPN per peso invertido (o ventaja comparativa)	0,72	- 0,36

Tabla 50 - Principales indicadores y resultados del análisis de costos y beneficios para la canasta Calle 72 y la alternativa de referencia en precios constantes de 2014 y 2016 - Elaboración: SYSTRA.

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

La Canasta C Calle 72 , más corta en 2,5 kilómetros y menos onerosa porque su inserción es elevada y no subterránea, tiene mejores resultados que la línea subterránea hasta la Calle 100 de referencia: el valor presente neto y la tasa interna de retorno son superiores. La Canasta C Calle 72 resulta rentable desde el punto de vista social ya que su valor presente neto positivo y su tasa interna de retorno es más grande que la tasa de descuento socioeconómica.

Otros dos indicadores se presentan en el resumen de los resultados:

- El indicador de los beneficios sobre los costos, que muestra el uso de los recursos. Si su valor es más grande que 1, el proyecto es rentable.
- El valor presente neto por peso invertido, también llamada “ventaja comparativa”, que es el valor presente neto dividido por la inversión. Este indicador da cuenta de la cantidad de pesos percibidos por un peso invertido.

Estos resultados son analizados más precisamente a continuación.

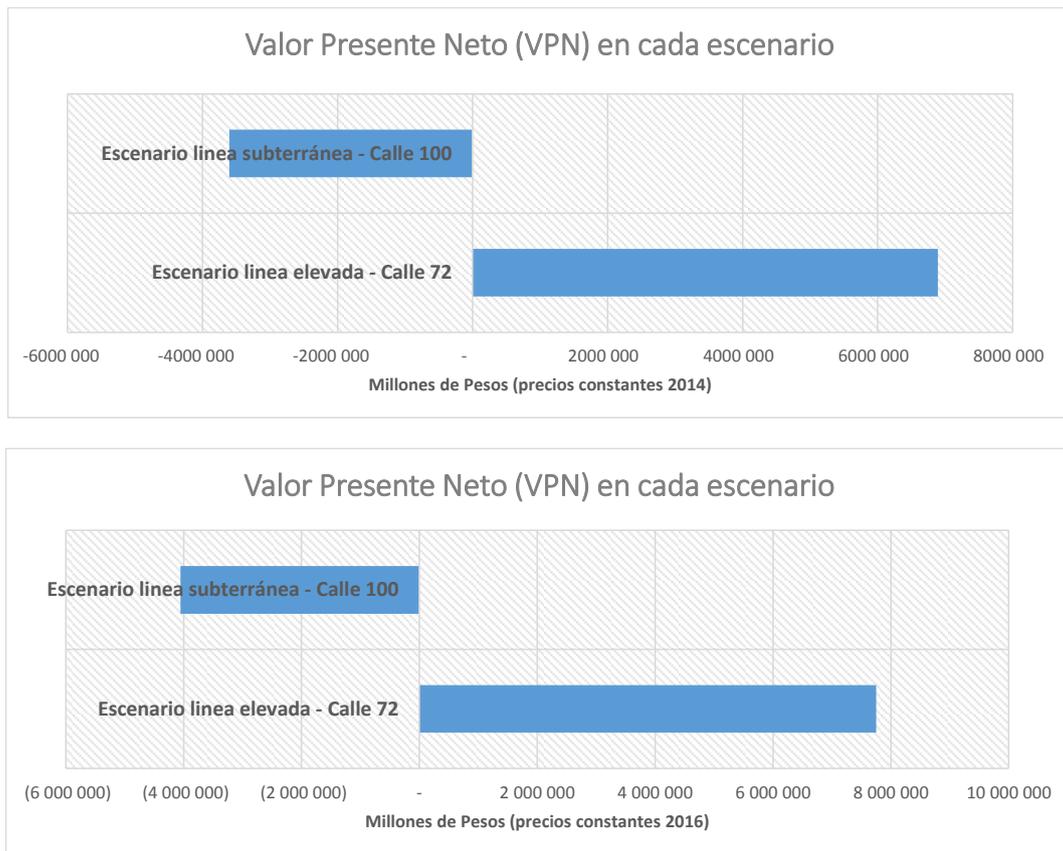


Figura 23 : Valor Presente Neto de la comparación en pesos constantes 2014 y 2016 (Fuente: SYSTRA)

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

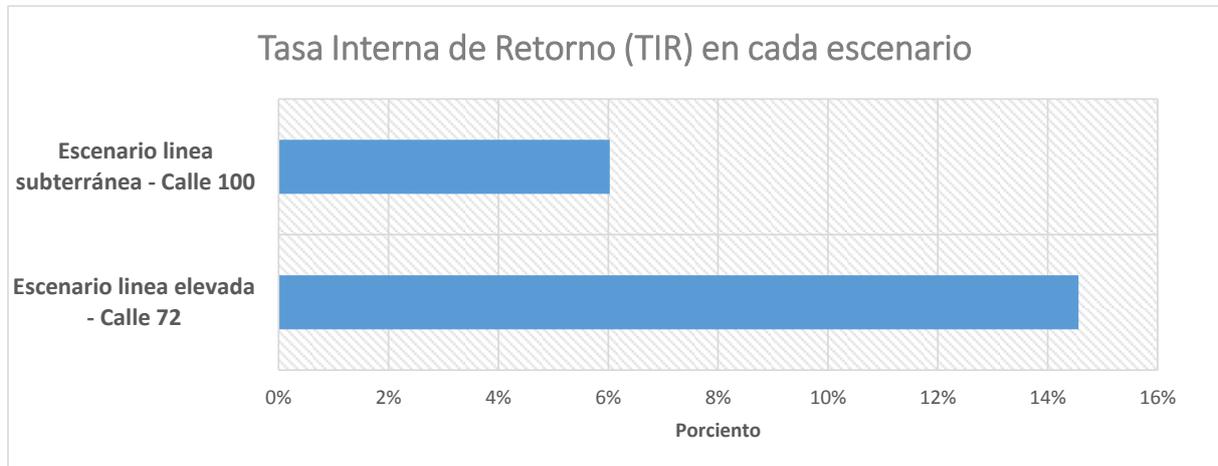


Figura 24 : Tasa Interna de Retorno en la comparación (Fuente: SYSTRA)

5.6.2 Variaciones de la demanda de transporte

Los datos de demanda de transporte producidas por la SDM explican las variaciones de resultados observados. Estos datos cambian de un escenario a otro de la siguiente forma en 2020:

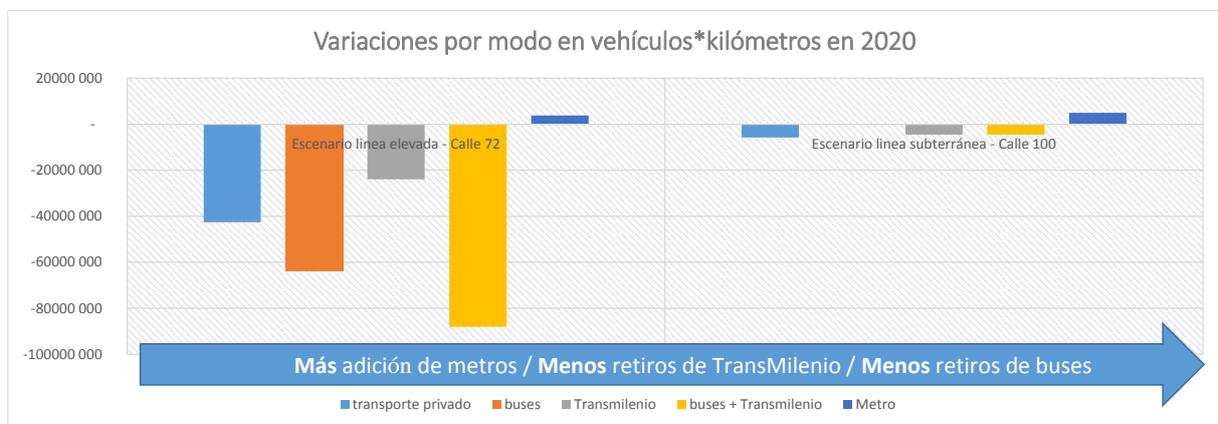


Figura 25 : Variaciones de vehículos*kilómetros por modo en 2020 (Fuente: SDM)

Las variaciones que son presentadas se comparan con el escenario “sin proyecto” en 2020.

La adición de los vehículos*kilómetros para los buses y los vehículos de TransMilenio es menos grande que en el “sin proyecto” para los dos escenarios (variaciones negativas) pero se redujo menos cuando la línea de metro es más larga y subterránea (en amarillo sobre la figura de arriba).

Igualmente, el volumen de vehículos*kilómetros para el transporte privado es menos grande que en el “sin proyecto” en los dos escenarios, siendo más grande para el escenario subterráneo Calle 100.

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

5.6.3 Costos y beneficios detallados en cada escenario

Se observa en la figura siguiente que, con base en las hipótesis de entrada consideradas, solo el proyecto de la línea elevada hasta la Calle 72 es rentable, es decir que los costos son más pequeños que los beneficios.

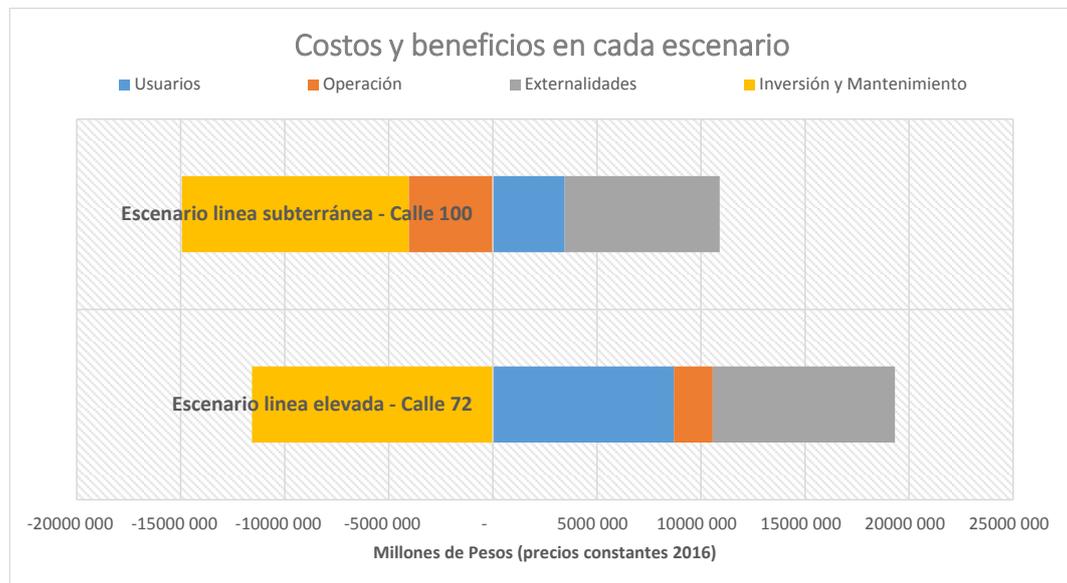
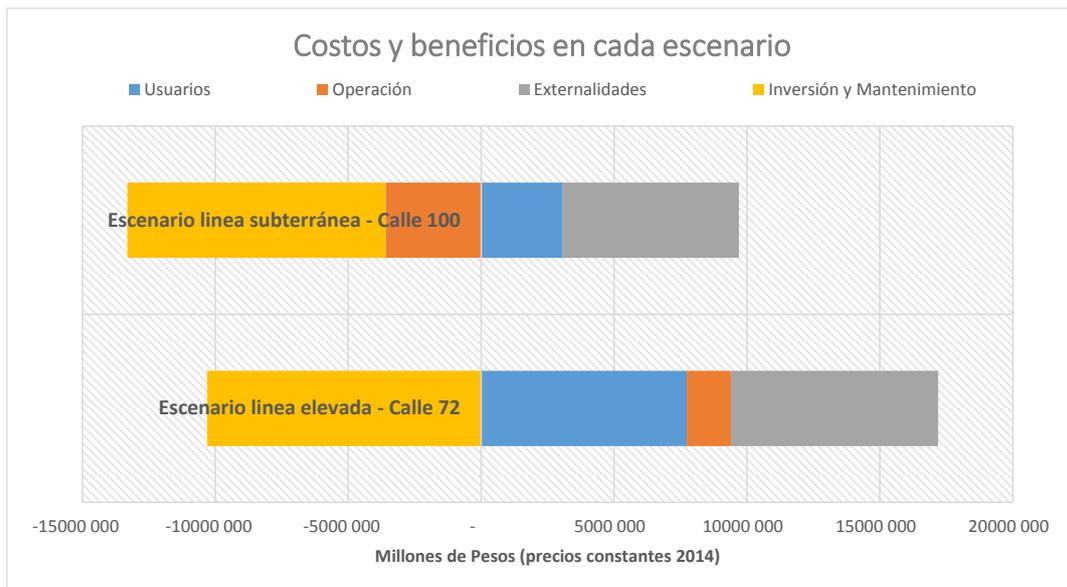


Figura 26 : Costos y beneficios detallados en la comparación en pesos constantes de 2014 y 2016 (Fuente: SYSTRA)

- Los beneficios de los antiguos usuarios del transporte público, o los ahorros de tiempo, dominan los beneficios para los usuarios.
- La variación de los costos de operación del escenario con proyecto respecto al escenario sin proyecto demuestran que se produce un ahorro por la reducción de los veh.km de los modos

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

bus y troncales. Para el modo metro aparece como negativa puesto que en escenario sin proyecto no existe este modo. La figura siguiente aclara los resultados:

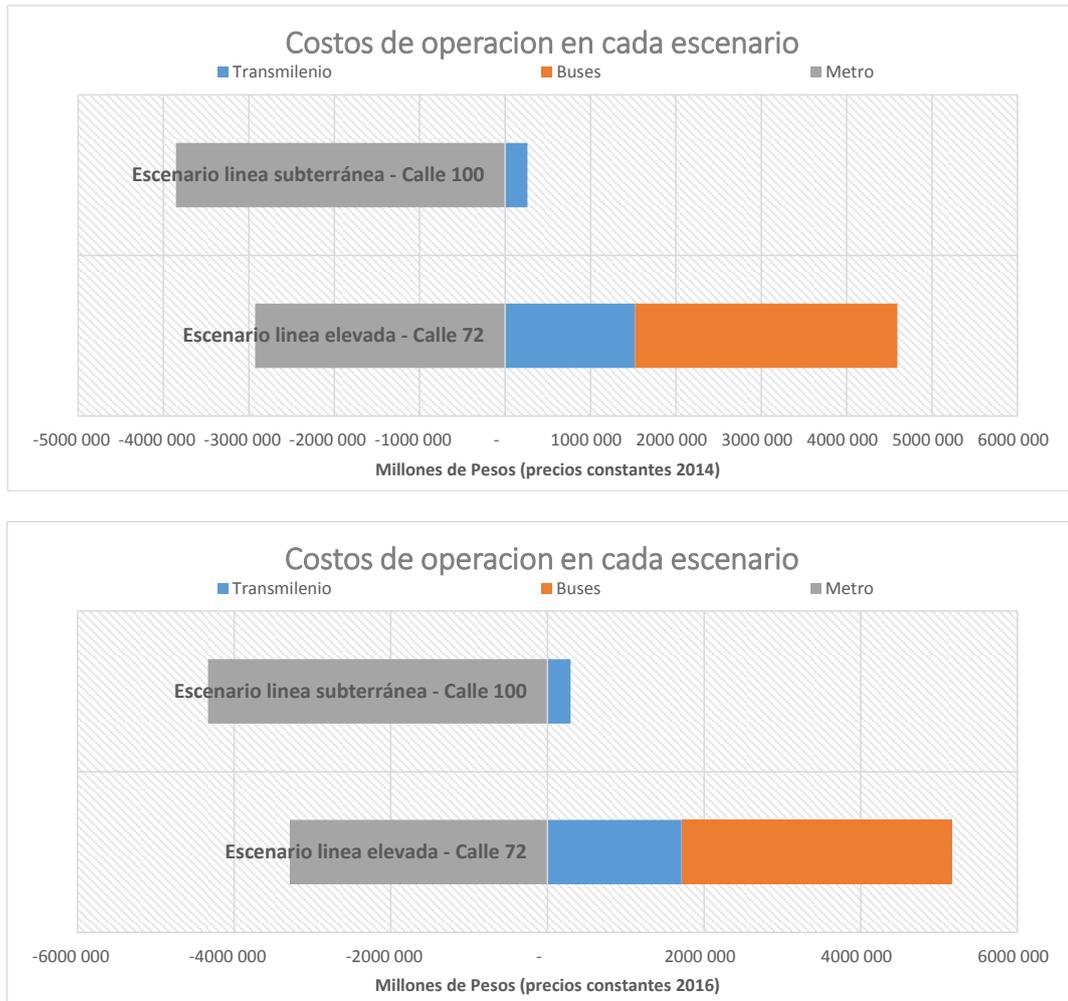


Figura 27 : Variación de los costos de operación en la comparación con el escenario sin proyecto en pesos constantes de 2014 y 2016 (Fuente: SYSTRA)

Los costos de operación del sistema metro son importantes a pesar de la baja variación de los vagones*kilómetros y en comparación con los costos de operación de los buses y los vehículos de TransMilenio, en particular por la canasta Calle 100 donde las variaciones de buses y TransMilenio son insignificantes.

- Las externalidades son calculadas para los buses, TransMilenio y el transporte privado. En todas las canastas, la adición de los buses, los TransMilenio y los vehículos privados retirados es negativa: el transporte carretero se disminuye y las externalidades se constituyen en beneficios.
- Los costos de inversión y mantenimiento son globalmente constantes puesto que el presupuesto para la inversión del metro y del TransMilenio es fija. Las variaciones observadas

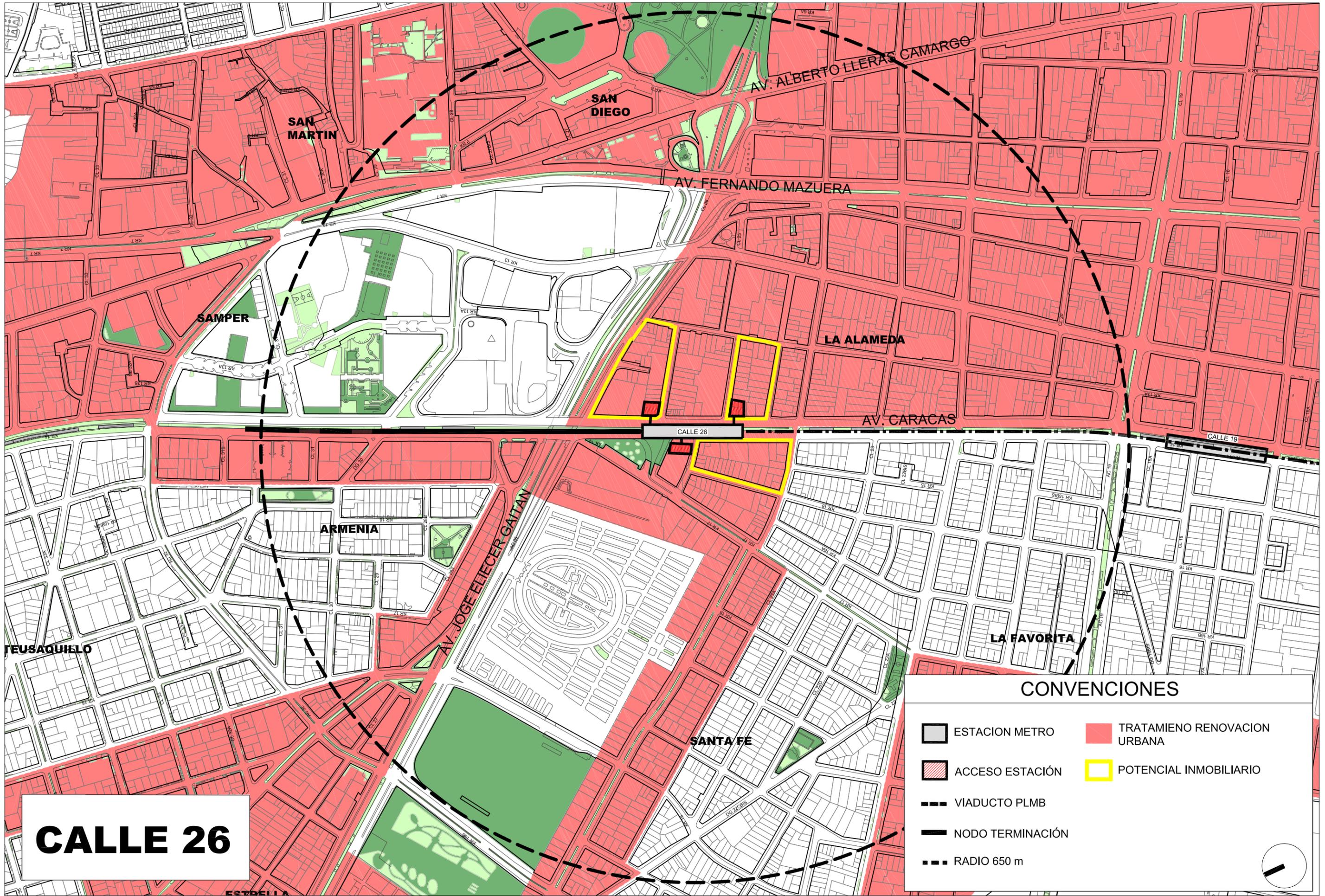
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio

se explican con las tasas de administración, imprevistos y utilidad que no son consideradas en el análisis y que intervienen solamente en la inversión del metro y con la transformación de los costos de mercado en costos sociales.

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

6. ANEXOS

6.1 Anexo 1: Cartografía de análisis de inserción urbana en los nodos de terminación

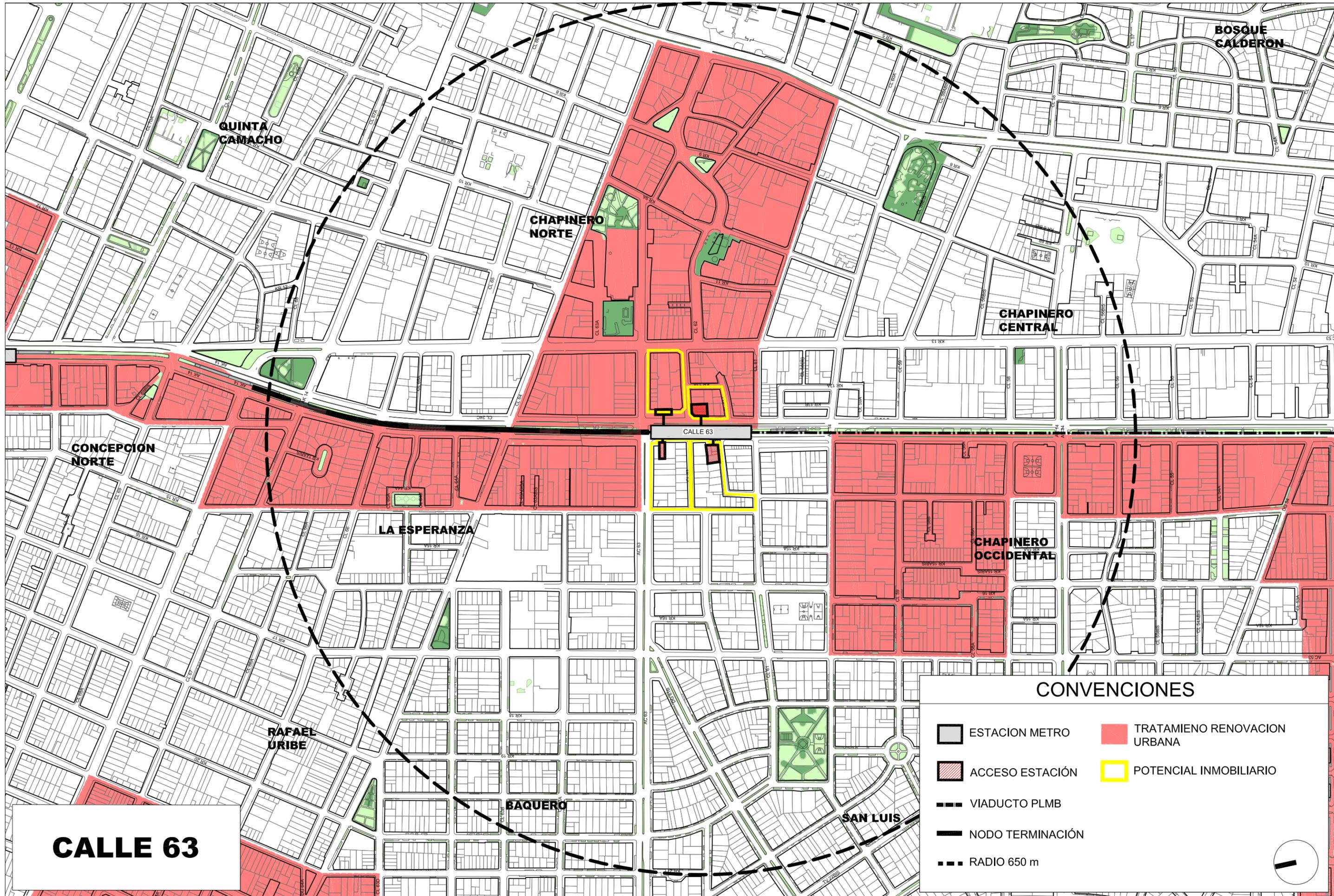


CALLE 26

CONVENCIONES

-  ESTACION METRO
-  TRATAMIENTO RENOVACION URBANA
-  ACCESO ESTACION
-  POTENCIAL INMOBILIARIO
-  VIADUCTO PLMB
-  NODO TERMINACION
-  RADIO 650 m



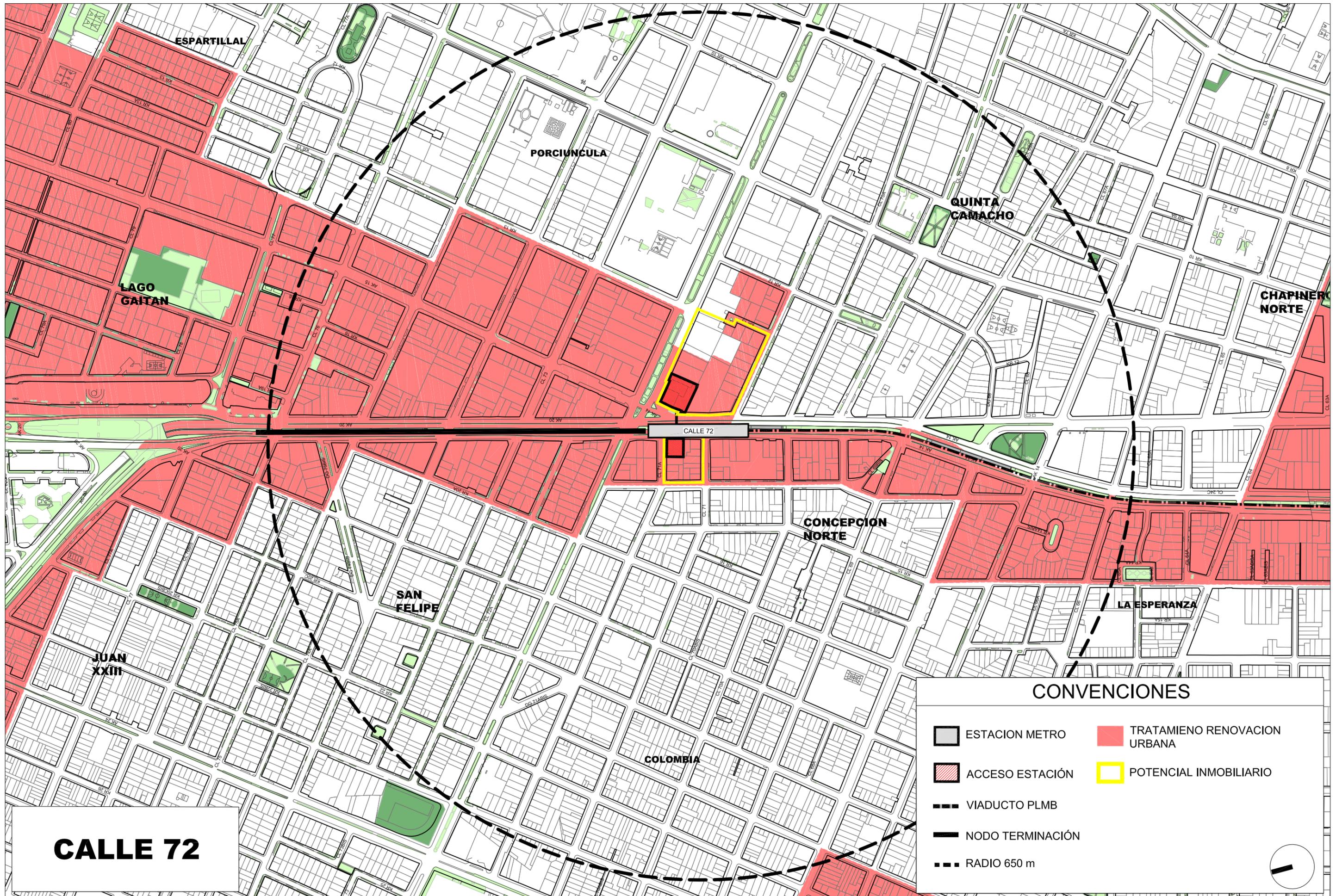


CALLE 63

CONVENCIONES

- ESTACION METRO
- ACCESO ESTACION
- VIADUCTO PLMB
- NODO TERMINACION
- RADIO 650 m
- TRATAMIENTO RENOVACION URBANA
- POTENCIAL INMOBILIARIO





CALLE 72

CONVENCIONES

	ESTACION METRO		TRATAMIENTO RENOVACION URBANA
	ACCESO ESTACION		POTENCIAL INMOBILIARIO
	VIADUCTO PLMB		
	NODO TERMINACION		
	RADIO 650 m		





SAN PATRICIO

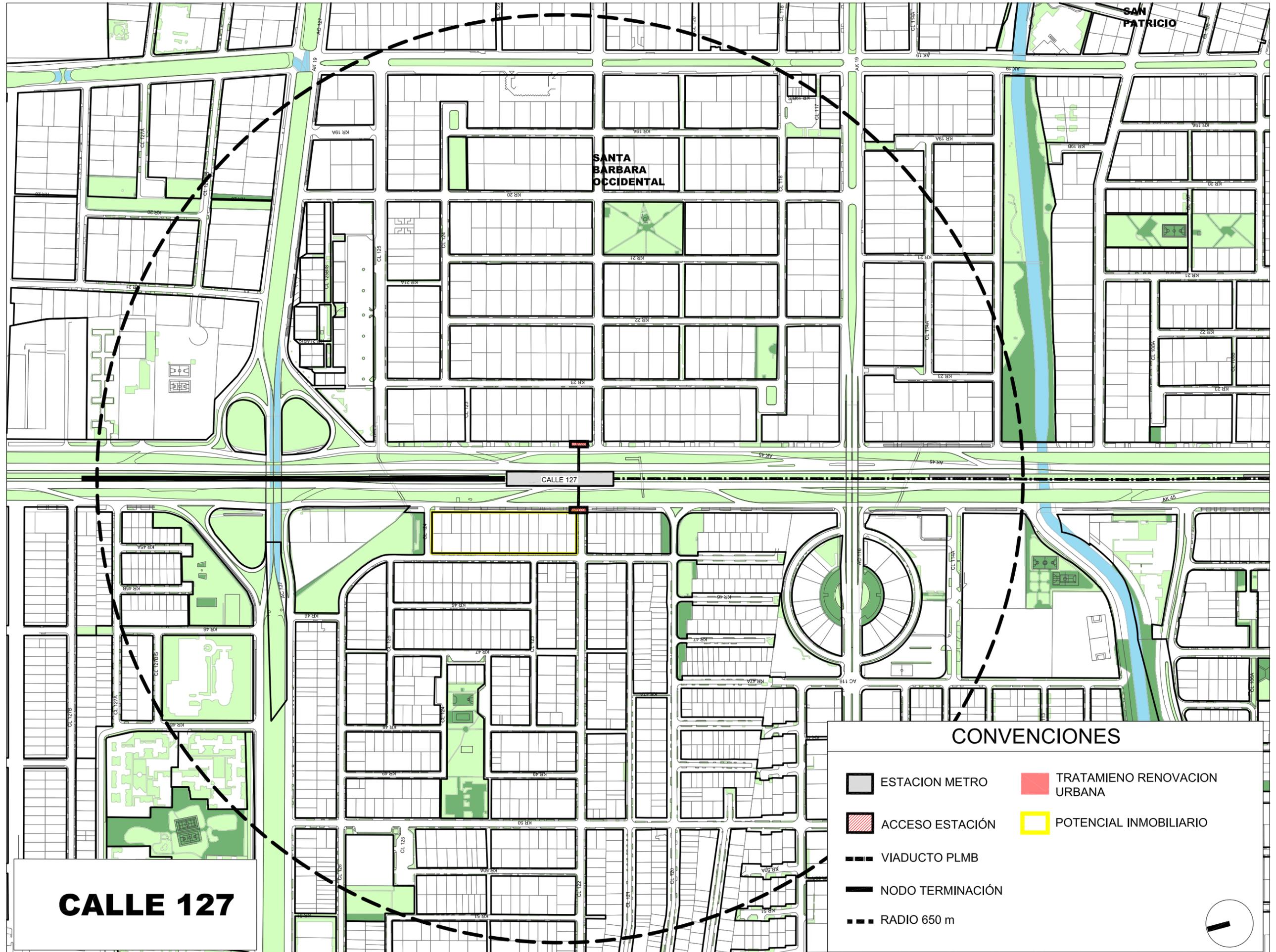
SANTA BARBARA OCCIDENTAL

CALLE 127

CALLE 127

CONVENCIONES

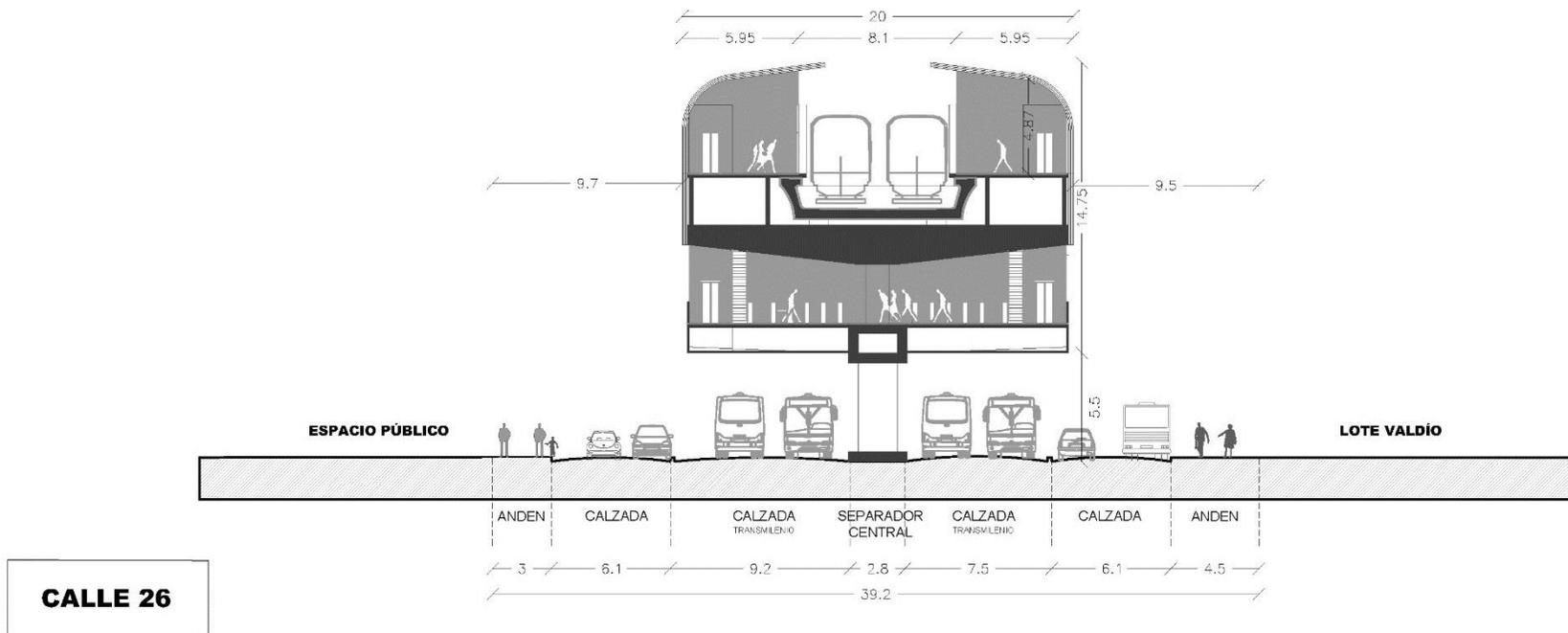
- ESTACION METRO
- TRATAMIENTO RENOVACION URBANA
- ACCESO ESTACION
- POTENCIAL INMOBILIARIO
- VIADUCTO PLMB
- NODO TERMINACION
- RADIO 650 m



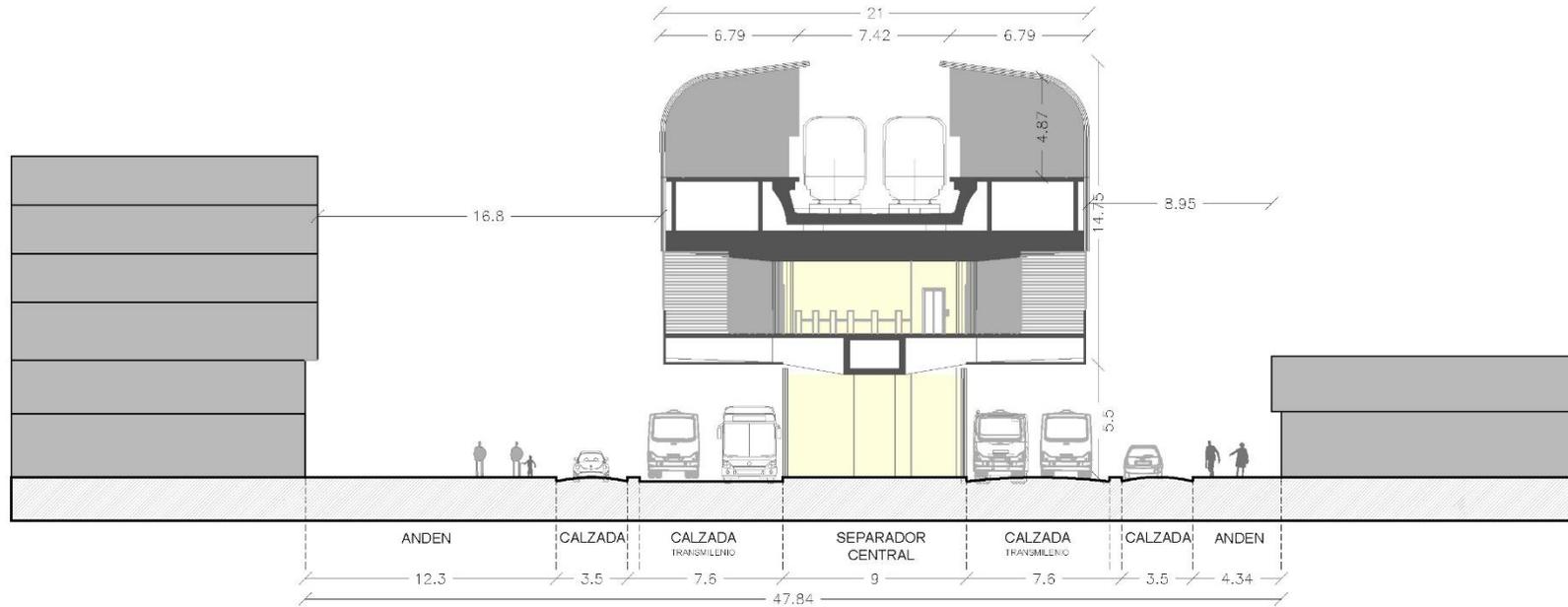
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio

6.2 Anexo 2: Secciones transversales utilizadas en la evaluación de la inserción urbana de la estación en los nodos de terminación

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

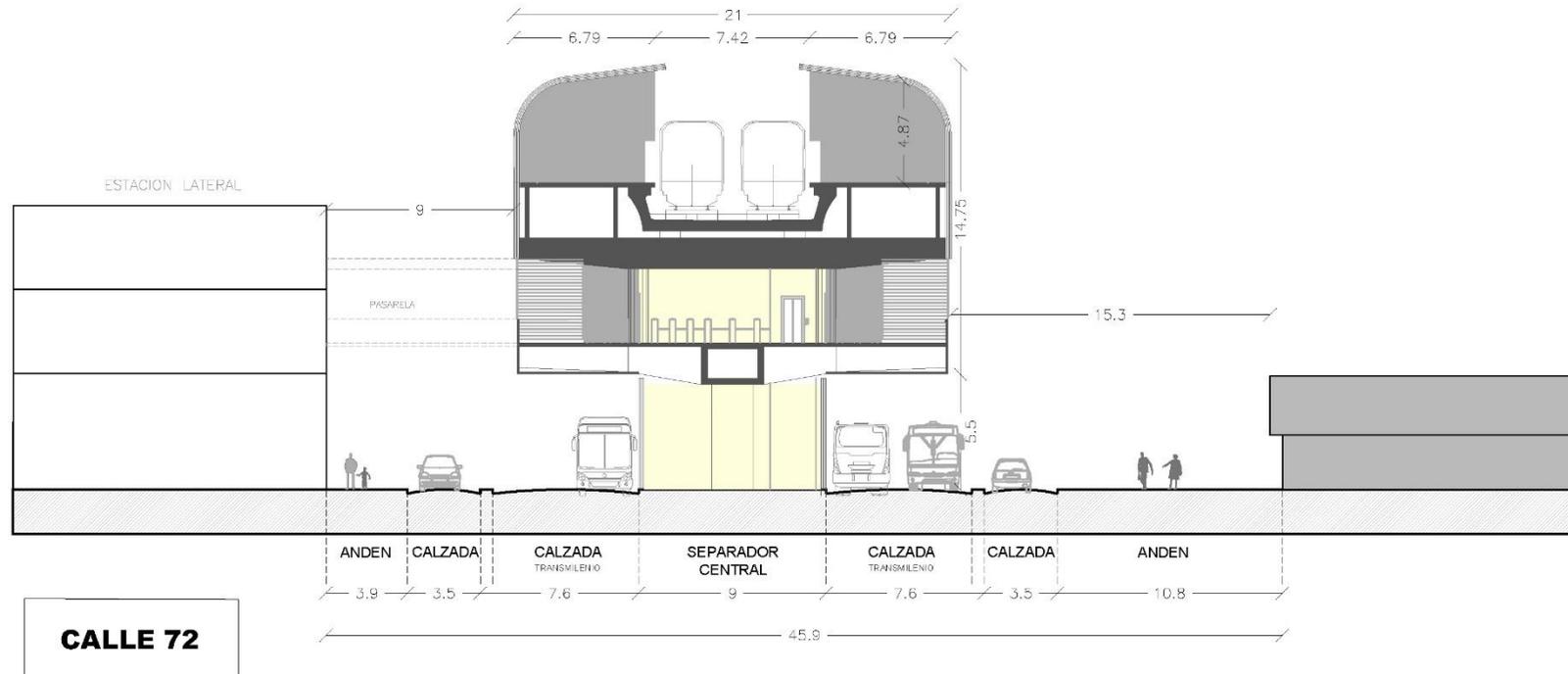


Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio

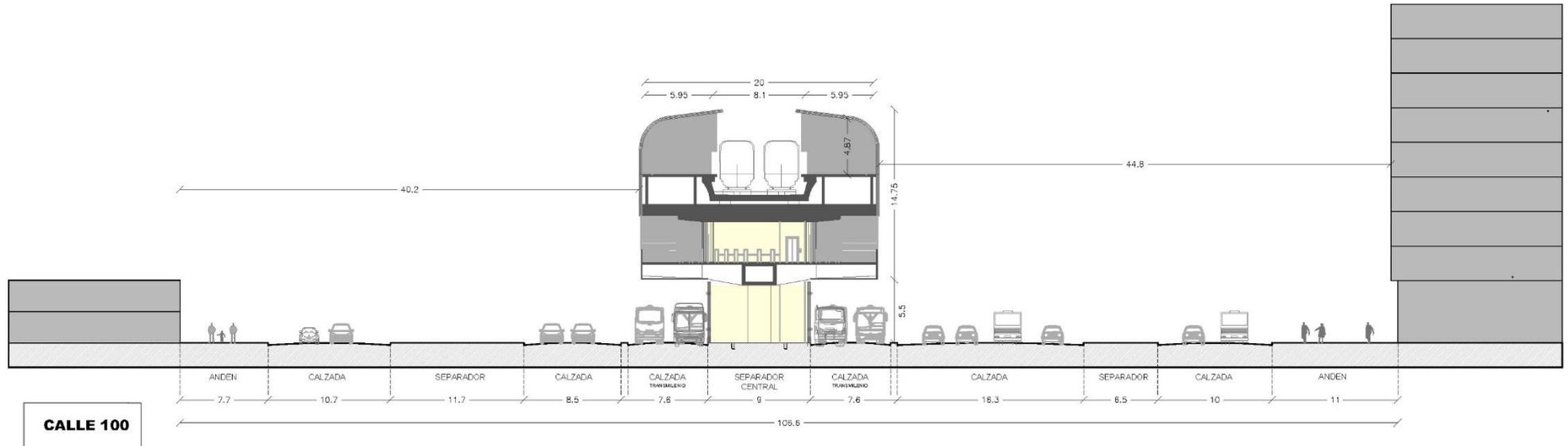


CALLE 63

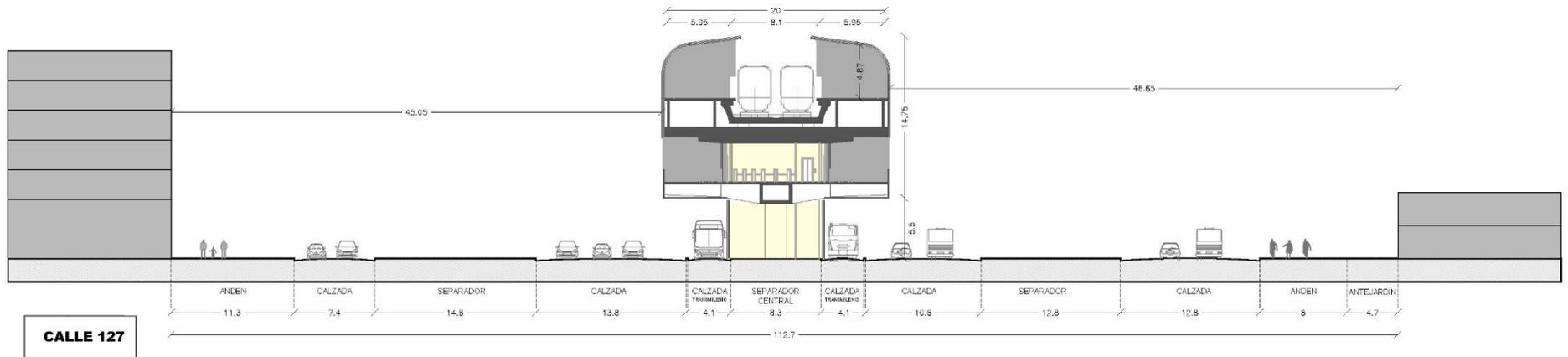
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio



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



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



CALLE 127

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

6.3 Anexo 3: Costos de inversión de la línea subterránea Calle 100

Los costos de inversión presentados para la línea subterránea Calle 100 se han estimado siguiendo la metodología de actualización de indicadores de costos de inversión presentada en el Entregable N° 3.

ITEM	UNIDAD	SUBTERRÁNEO HASTA CALLE 100		
		Cantidad	COP	USD
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO				
OBRA CIVIL LÍNEA	KM	17,6	\$ 2 213 151	\$ 702,59
SISTEMA FERROVIARIO	KM	22,9	\$ 1 009 619	\$ 320,51
MATERIAL RODANTE	UN	36,0	\$ 1 587 600	\$ 504,00
ESTACIONES	UN	22,0	\$ 3 369 681	\$ 1 069,74
TALLERES Y COCHERAS	UN	54,0	\$ 442 260	\$ 140,40
URBANISMO Y PAISAJISMO	KM	22,9	\$ 288 463	\$ 91,58
OBRAS CIVILES ADICIONALES (Redes y estructuras varias)	KM	22,9	\$ 252 405	\$ 80,13
COSTO RAMAL TECNICO	KM	0,6	\$ 87 886	\$ 27,90
COSTO RAMAL TECNICO	KM	5,0	\$ 732 375	\$ 232,50
TOTAL COSTOS DIRECTOS			\$ 9 983 439	\$ 3 169,35
	A.I.U.	25%	\$ 2 495 860	\$ 792
TOTAL CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO			\$ 12 479 299	\$ 3 961,68
OTROS COSTOS				
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	%	2,5%	\$ 311 982	\$ 99,04
DESVÍOS Y MANEJO DE TRÁFICO	%	4,0%	\$ 499 172	\$ 158,47
PREDIOS Y LEGALIZACIÓN	M2		\$ 848 498	\$ 269,36
ESTUDIOS, DISEÑOS Y ASISTENCIAS TÉCNICAS	%	4,0%	\$ 499 172	\$ 158,47
INTERVENTORÍA FASE DE OBRA	%	5,0%	\$ 623 965	\$ 198,08
AJUSTES EN PRECIOS UNITARIOS DE MATERIAS PRIMAS				
			\$ 2 782 789	\$ 883,43
Troncal Avenida Villavicencio			\$ 75 000	\$ 23,81
GRAN TOTAL			\$ 15 337 088	\$ 4 868,92
COSTO POR KM			\$ 669 922	\$ 212,67

Tabla 51 - Costos de inversión del escenario línea subterránea Calle 100– Fuente: SYSTRA-SIGMA

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

6.4 Anexo 4: Costos operacionales del sistema metro según infraestructuras subterránea, elevada y elevado con y sin conductores

COSTOS DE OPERACIÓN	US\$/vag.km subterráneo con conductores (2016)	US\$/vag.km elevado sin conductores (2016)	US\$/vag.km elevado con conductores (2016)
COSTOS DE PERSONAL (todos los componentes del sistema)			
Personal de Operación-Mantenimiento	0,99	0,77	0,99
Personal de Apoyo	0,40	0,40	0,40
Costo de Limpieza	0,13	0,13	0,13
Costo de Seguridad	0,10	0,10	0,10
Personal	1,62	1,41	1,62
COSTOS DE MANTENIMIENTO (materiales, contratos)			
Material Rodante	0,55	0,55	0,55
Media Vida Material Rodante	0,22	0,22	0,22
Vías Férreas	0,12	0,09	0,09
Señalización	0,06	0,05	0,05
Telecomunicaciones	0,05	0,05	0,05
Electrificación	0,06	0,06	0,06
Otros Equipos (sistema de cobro, instalaciones estación)	0,09	0,09	0,09
Estaciones y Edificaciones	0,13	0,13	0,13
Estructuras	0,10	0,12	0,12
Mantenimiento	1,37	1,35	1,35
Electricidad	0,83	0,66	0,66
SUB-TOTAL COSTOS DE EXPLOTACIÓN	3,82	3,42	3,64
COSTOS FINANCIEROS Y DE SEGUROS			
Costos financieros préstamos para material rodante	0,60	0,60	0,60
Seguros explotación (Infraestructura y Sistema Integral)	0,14	0,14	0,14
Variación del capital de trabajo	0,05	0,05	0,05
Amortizaciones de la inversión en material rodante	0,36	0,36	0,36
Costos financieros + seguros	1,15	1,15	1,15
TOTAL COSTOS DE EXPLOTACIÓN	4,96	4,56	4,78

Tabla 52 - Anexo: Costos de operación del sistema metro según características de infraestructura elevada o subterránea y según utilización o no de conductores– Fuente: SYSTRA

Costo del kwh (USD)	0,08
Consumo eléctrico de cada vagon (kwh/vagon.km)	3

6.5 Anexo 5: Estimación del costo de la contaminación atmosférica

- Los valores de referencia franceses incluyen los siguientes elementos:

(fuente: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/IV_-_Effets_sur_la_pollution_locale_de_l_air_V_01_10_2014.pdf)

- los efectos sanitarios (patologías respiratorias, aumento de la mortalidad, etc.);
 - los efectos medioambientales (eutrofización o acidificación del medio ambiente, desfertilización de los suelos, pérdidas de cosechas);
 - los efectos sobre las construcciones (degradación de fachadas).
- Los contaminantes incluidos en los cálculos son los siguientes :

(fuente : Informe «Valorización de la contaminación atmosférica en el cálculo socioeconómico» del cuerpo de documentos de la Comisión Quinet)

- Partículas (PM_{2,5}): efectos sanitarios (mortalidad y morbilidad);
 - NO_x: efectos sobre la salud (vía nitratos y O₃), eutrofización de los medios naturales y efecto de fertilización de los suelos agrícolas (vía nitratos), pérdidas de cosechas (vía O₃) ;
 - SO₂: salud (vía sulfatos), acidificación de los medios naturales, pérdidas de cosechas;
 - COVNM : efectos sanitarios (vía O₃), pérdidas de cosechas (vía O₃).
- Los valores de referencia dependen del modo de transporte (carretero, ferroviario, aéreo, marítimo) y del tipo de vehículo.

Para el modo carretero, se distinguen los vehículos ligeros (VL), los camiones (PL), las dos ruedas y los buses. Existen valores diferentes según el carburante, sin embargo se ha utilizado el valor genérico para los VL.

- Los valores dependen de la densidad del medio urbano que recorre. Se ha seleccionado un valor para un medio urbano denso porque en un valor promedio aceptable a la escala de la ciudad de Bogotá. En efecto, no se conocen precisamente las densidades urbanas y la repartición de los trayectos por donde transitan los vehículos particulares que va a ser evitados en la situación con proyecto por zona de diferente densidad (si se quisiera afinar al máximo esta estimación, se debería tener como dato de entrada no solamente los veh.km sino también los veh.km por sector de densidad urbana (muy denso, denso, promedio, etc.)
- Síntesis de la metodología:

Ella se basa en el siguiente documento francés (extracto relativo a la contaminación atmosférica):

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

3.1. Pollution atmosphérique

- Mode routier

Valeurs de la pollution atmosphérique (en €₂₀₁₀/veh.km en 2010), pour le mode routier

€ ₂₀₁₀ /100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9
VP diesel	20,4	5,5	2,2	1,6	1,1
VP essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5
VP gpl	3,5	1,0	0,4	0,3	0,1
VUL	32,3	8,7	3,4	2,4	1,6
VU diesel	33,7	9,1	3,5	2,5	1,6
VU essence	6,3	1,9	0,9	0,8	0,8
PL Diesel	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4
Deux roues	8,7	2,5	1,0	0,8	0,5
Bus	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2

(fuente: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/V_-_Valeurs_de_reference_prescrites_pour_le_calcul_V_01_10_2014.pdf)

1. Selección del coeficiente francés que corresponde más cercanamente al caso de Bogotá

Se han seleccionado el tipo de vehículo (vehículo particular VP – en general y el bus) y el medio urbano denso

Se considera pues el valor de 4,3 € 2010 por 100 VP.km y 24,80 €2010 por 100 bus.km

2. Conversión/Ajuste para el caso de Bogotá

Se proyecta a € 2014 con la inflación francesa

Se proyecta en COP 2014 con la tasa de cambio vigente en 2014

Se convierte el valor de referencia en Francia al valor colombiano utilizando un ratio del PIB

3. Resultado

Se multiplica el coeficiente obtenido de esta manera por la variación de veh.km.

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

6.6 Anexo 6: Estimación del costo de la contaminación sónica (ruido)

La metodología se basa, como para el caso de la contaminación atmosférica, sobre el siguiente documento (extracto relativo al ruido)

Mode routier					
Valeurs du coût des nuisances sonores, en € ₂₀₁₀ /1000 veh.km, pour le mode routier, en trafic peu dense par jour moyen					
Type de peuplement	Type d'infrastructure	Coût moyen VL	Coût moyen PL	Coût marginal VL	Coût marginal PL
Rural	Autoroute	0.5	1.9	0.03	0.1
	Nationale ou départementale	1.9	13.6	0.12	0.8
	Communale	10.5	115.2	0.63	6.9
Semi-urbain	Autoroute	2.0	7.8	0.12	0.5
	Nationale ou départementale	3.3	23.4	0.20	1.4
	Communale	16.9	168.6	1.01	10.1
Urbain	Autoroute	5.6	22.5	0.34	1.3
	Nationale ou départementale	5.7	39.7	0.34	2.4
	Communale	31.5	314.6	1.89	18.9
Urbain dense	Autoroute	8.3	33.1	0.50	2.0
	Nationale ou départementale	9.1	64.0	0.55	3.8
	Communale	37.9	379.3	2.28	22.8

(fuente: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/V_-_Valeurs_de_reference_prescrites_pour_le_calcul_V_01_10_2014.pdf)

1. Selección del coeficiente francés que corresponde más cercanamente al caso de Bogotá

Se verifica el costo marginal (porque se verifica la adición/supresión de veh.km y no de un valor absoluto de veh.km).

Se han seleccionado el tipo de vehículo (vehículo particular (VP) y camión (PL), se considera en efecto que el costo camión (PL) es asimilado al costo del bus), el medio urbano denso y el tipo de vía (en este caso comunal o secundaria)

Se considera pues el valor de 2,28 € 2010 por 1000 VP.km y 22,80 €2010 por 1000 bus.km

4. Conversión/Ajuste para el caso de Bogotá

Se proyecta a € 2014 con la inflación francesa

Se proyecta a COP 2014 con la tasa de cambio vigente en 2014

Se convierte el valor de referencia en Francia al valor colombiano utilizando un ratio del PIB

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

2. Resultado

Se multiplica el coeficiente obtenido de esta manera por la variación de veh.km.