

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 9,
Informe Final: Resumen Ejecutivo
PLMB-SYS-DOC-TOD-0900-0B
22 de Noviembre del 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

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	Informe Final, Resumen Ejecutivo – Versión Final
Fecha	22/11/2016
Nombre del archivo	PLMB-SYS-DOC-TOD-0900-0B-v19
Revisión	Rev.0
Privacidad	Entrega
Lengua	Español
Número de páginas	81

Disclaimer: SYSTRA no tiene conflicto de interés en relación con derechos sobre las tecnologías y soluciones analizadas

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	12/10/2016	Primera edición
0B	02/11/2016	Primera edición
0B	22/11/2016	Segunda edición

CONTROL

Versión 0A		
Autor :	Hervé MAZZONI Azouz BENNOUI Pauline ROBERT Carmen LUCAS Natalia LAURENS Luisa ROZO Guillemette ZUBER	01/10/2016
Verificado por :	Joaquin ORTIZ	11/10/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	12/10/2016
Versión 0B		
Autor :	Hervé MAZZONI Azouz BENNOUI Pauline ROBERT Carmen LUCAS Natalia LAURENS Luisa ROZO Guillemette ZUBER	28/10/2016
Verificado por :	Joaquin ORTIZ	02/11/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	02/11/2016 (primera edición) 22/11/2016 (segunda 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	8
1.1	CONTEXTO DEL PROYECTO	9
1.2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	10
1.3	GLOSARIO	11
2.	EXPERIENCIAS INTERNACIONALES SOBRE METROS ELEVADOS Y RECOMENDACIONES PARA EL CASO DE BOGOTÁ	12
2.1	CONCLUSIONES DE LA COMPARACIÓN	12
2.2	LECCIONES PARA EL CASO DE BOGOTÁ	13
3.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE LA PLMB	14
3.1	EL PROCESO DE SIMULACIONES DE LAS ALTERNATIVAS	14
3.2	EL PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	14
4.	BENEFICIOS ECONÓMICOS DE OPCIONES DE INVERSIÓN FRENTE AL TRAZADO ORIGINAL	26
4.1	EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES DE CANASTAS	28
4.2	SELECCIÓN DE LA CANASTA CON MEJOR DESEMPEÑO EN TRANSPORTE, INSERCIÓN URBANA, CONECTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD FINANCIERA	31
5.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO, ESTIMACIÓN DE CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO	33
5.1	TRAZADO DEL TRAMO 1 A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD	33
5.2	OPTIMIZACIÓN DEL NÚMERO Y POSICIÓN DE ESTACIONES EN LA CANASTA SELECCIONADA	37
5.3	TIPOLOGÍA DE LA INFRAESTRUCTURA DE ESTACIONES	38
5.3.1	EL PROGRAMA DE LAS ESTACIONES	42
5.4	CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLMB A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD	44
5.5	ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO PARA EL TRAMO 1 A NIVEL DE PREFACTIBILIDAD	47
5.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO 1 DE LA PLMB Y LA CANASTA DE LA PLMB TRONCALES ALIMENTADORAS	47
5.5.2	COSTOS DE INVERSIÓN PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB Y CANASTA DE LA PLMB MÁS TRONCALES ALIMENTADORAS	48
5.6	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD FINANCIERA EN LA OPERACIÓN DE DESARROLLO POR TRAMOS DE LA PLMB	50
5.6.1	ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE EXPLOTACIÓN	50
5.6.2	ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS OPERACIONALES POR PASAJERO	50
6.	ANEXOS	52
6.1	ESTIMACIONES DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DE LAS OPCIONES DE CANASTA	52

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	TRAZADO FERROVIARIO DE LA PLMB ENTRE ESTACIÓN PORTAL AMÉRICAS Y ESTACIÓN CALLE 72 (PLANTAS Y PERFIL LONGITUDINAL)	57
6.3	ESTIMACIONES DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DE LA CANASTA “C” CALLE 72	79

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 LAS ALTERNATIVAS.....	16
TABLA 2- DEFINICION DE LOS COMPONENTES ANALIZADOS EN LA MATRIZ MULTICRITERIO – FUENTE: SYSTRA	17
TABLA 3- DEFINICION DE LOS CRITERIOS ANALIZADOS EN LA MATRIZ MULTICRITERIO – FUENTE: SYSTRA.....	18
TABLA 4 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DE LOS INDICADORES ESTUDIADOS – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP	22
TABLA 5 - RESULTADO FINAL GLOBAL DEL ANALISIS MULTICRITERIO SEGUN ESCENARIO DEFINIDO POR CSC – FUENTE: SYSTRA	24
TABLA 6 - COSTOS DE LA PLMB, DE LA RECONFIGURACION DE TRONCALES EN CORREDOR DEL METRO Y DE TRONCALES ALIMENTADORAS (MM COP) SEGUN OPCIONES DE NODO DE TERMINACION – FUENTE: SYSTRA CON DATOS DEL IDU Y SDM	27
TABLA 7 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DE LA CALIDAD DEL SERVICIO DE TRANSPORTE PARA CADA CANASTA – FUENTE: SYSTRA Y SIMULACIONES SDM).....	29
TABLA 8 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PUBLICO PARA CADA CANASTA – FUENTE: SYSTRA Y SIMULACIONES SDM).....	30
TABLA 9 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION CARACTERIZACION URBANA NODO DE TERMINACION – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP	31
TABLA 10 - VALORES DE RESULTADOS Y CALIFICACION DE LA CONECTIVIDAD DE LA LINEA EN EL NODO DE TERMINACION – FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP	31
TABLA 11 - RESULTADOS CUANTITATIVOS DEL PROCESO DE EVALUACION DE LOS INDICADORES POR OPCION DE CANASTA (FUENTE: SYSTRA)	32
TABLA 12 - PREMISAS PARA EL MATERIAL RODANTE (FUENTE: SYSTRA).....	34
TABLA 13 - PARAMETROS FUNCIONALES DE DISEÑO PARA EL CONFORT DEL USUARIO Y EL TREN (FUENTE: SYSTRA) 34	
TABLA 14 - AJUSTE DE ESTACIONES DEL TRAMO 1 DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA, CSC)	37
TABLA 15 - LONGITUD TRONCALES ALIMENTADORAS (FUENTE: SYSTRA)	47
TABLA 16 - CARACTERISTICAS DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA)	47
TABLA 17 - COSTOS DE INVERSION DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA)	49
TABLA 18 - COSTOS DE INVERSION TRONCALES ALIMENTADORAS (FUENTE: IDU)	49
TABLA 19 - COSTOS TOTALES DE INVERSION (FUENTE: SYSTRA).....	50
TABLA 20 - COSTO OPERACIONAL POR PASAJERO DE LA PLMB A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA)	51
TABLA 21 - ANEXO: INDICADORES DE COSTOS UNITARIOS PARA ANALIZAR CANASTAS PARA LA PLMB A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA)	52
TABLA 22 - ANEXO: MATRIZ DE COSTOS DE LAS OPCIONES DE NODO DE TERMINACION DE LA PLMB A MILLONES DE PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA)	53
TABLA 23 - ANEXO: ESTIMACION DE COSTOS DE TRONCALES ASOCIADAS A CADA CANASTA Y COSTO DE LAS ESTACIONES DE INTEGRACION METRO-TM (FUENTE: IDU)	54
TABLA 24 - ANEXO: COSTO ESTIMADO PARA CADA ALTERNATIVA DE CANASTA PLMB + TRONCALES (FUENTE: SYSTRA)	55
TABLA 25 - ANEXO: ESTIMACION DE COSTOS DE PREDIOS Y SU LEGALIZACION (FUENTE: IDU).....	56
TABLA 26 - ANEXO: INDICADORES DE COSTOS UNITARIOS PARA ANALISIS DE LA CANASTA ESCOGIDA PARA LA PLMB A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA)	79
TABLA 27 - ANEXO: MATRIZ DE INVERSION PARA LA PLMB HASTA LA CALLE 72 A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA) 80	
TABLA 28 - ANEXO: ESTIMACION COSTO DE TRONCALES ALIMENTADORAS PARA CANASTA CALLE 72 A PESOS DE 2016 (FUENTE: IDU)	81

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 ORIGINAL CON INSERCIÓN SUBTERRÁNEA (FUENTE: CONSORCIO CL1, 2014)	10
FIGURA 2: UBICACIÓN DE LOS 5 EJEMPLOS DE METRO EN EL MUNDO	12
FIGURA 3: ALTERNATIVAS A LA CONFIGURACIÓN DE TRAZADO E INFRAESTRUCTURA COMPARADAS Y EVALUADAS (FUENTE: SYSTRA)	15
FIGURA 4: PESO DE LOS COMPONENTES DE EVALUACIÓN – FUENTE: COMITÉ DE SEGUIMIENTO CONSULTORÍA (CSC)	18
FIGURA 5: RESULTADOS DEL AMC – FAMILIA A	22
FIGURA 6: RESULTADOS DEL AMC – FAMILIA B	23
FIGURA 7: RESULTADOS DEL AMC – FAMILIA C	23
FIGURA 8: RESULTADOS DEL AMC – FAMILIA D	24
FIGURA 9: ALTERNATIVA D.1 SELECCIONADA, TRAZADO A LARGO PLAZO (FUENTE: SYSTRA).....	25
FIGURA 10: DISTRIBUCIÓN DEL PRESUPUESTO DE 12,82 BILLONES COP SEGÚN CANASTAS DE INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE	28
FIGURA 11: DIAGRAMA DE AFLUENCIA DE PASAJEROS POR ESTACIÓN ALTERNATIVA D.1, HORIZONTE 2050 (FUENTE: SDM)	30
FIGURA 12: TRAMIFICACIÓN DEL TRAZADO DE LA PLMB. TIPOS DE VÍAS (FUENTE: SYSTRA)	35
FIGURA 13: TIPOLOGÍA DE ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA SUPERPUESTA SOBRE ESTACIÓN DE TRANSMILENIO (FUENTE: SYSTRA).....	39
FIGURA 14: PERSPECTIVA DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA CON TRANSMILENIO (FUENTE: SYSTRA)	40
FIGURA 15: PERSPECTIVA DE LA ESTACIÓN SIMPLE (FUENTE: SYSTRA).....	40
FIGURA 16: TIPOLOGÍA DE ESTACIÓN SIMPLE (FUENTE: SYSTRA)	41
FIGURA 17: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, INSTALACIÓN DE SISTEMAS FERROVIARIOS Y ENSAYOS PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB SEGÚN ESCENARIO EN DOS FASES (FUENTE: SYSTRA).....	45
FIGURA 18: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO 1 DE LA PLMB Y DE LA CANASTA DE TRONCALES DE TRANSMILENIO (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	46
FIGURA 19: PROYECTOS DE INVERSIÓN PARA LA CANASTA CON NODO DE TERMINACIÓN EN CALLE 72 (FUENTE: SDM)	48

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

A finales del año 2014, como resultado de los estudios y diseños de ingeniería básica avanzada, contratados por la Administración Distrital de Bogotá, con el Consorcio CL1 (IDOM – EUROESTUDIOS – CANO JIMENEZ), se definió que el trazado de la Primera Línea del Metro de Bogotá - PLMB sería 100% subterráneo. El trazado iniciaría en el Portal de las Américas, cruzaría la Avenida de Ciudad de Cali y continuaría por el centro de la Avenida Villavicencio hasta la Avenida 1º de Mayo; discurre por esta hasta cruzar el río Fucha y llegar hasta la Avenida La Hortúa y desde esta hasta la Avenida Carrera 10 para tomar la Carrera 13 a la altura de la Calle 28. A partir de la Calle 28 el trazado se sitúa bajo la Carrera 13 hasta la Plaza de Lourdes y a continuación pasaría a la Carrera 11 hasta el final del tramo en la Calle 127. Los patios y talleres estarían ubicados al Sur Occidente del portal de las Américas en el predio Bosa 37 para lo cual se hacía necesaria la implementación de un ramal técnico de conexión de aproximadamente 5 km.

En su recorrido se estableció un total de 27 estaciones, de las cuales 7 serían de tipo intermodal con conexión con otros medios de transporte, 18 serían de paso o simples y 2 de ellas serían tipo especial que tienen conexión directa con más de un medio de transporte e incluyen equipamiento anexo como centros comerciales, centros de negocios, centros culturales o de vivienda.

El valor total de esta inversión a precios del año 2014 era de 14,895 billones COP. Esta cifra permitió al CONPES y al CONFIS establecer el presupuesto y asignar una serie de vigencias futuras a 30 años que permitían financiarlo. Al momento, el costo del proyecto expresado en dólares alcanzaría los USD 276 millones por kilómetro de línea comercial, lo que lo convertiría en uno de los más costosos del mundo, aún sin considerar los sobrecostos típicos de las obras civiles bajo tierra en ambientes urbanos.

En el año 2015, la FDN contrató la realización de un estudio de ingeniería de valor, con la firma SENER, en donde identificaron 49 ideas con el fin de ahorrar costos, dentro de las cuales se planteó la posibilidad de elevar el tramo entre la estación Portal de Las Américas y la estación Rosario; sin embargo, esta opción fue rechazada en ese momento por la Administración de Bogotá.

A finales de 2015, la administración entrante de la ciudad planteó, desde su programa de gobierno, la ejecución de una PLMB más económica, mayormente integrada con antiguas, nuevas y futuras troncales de TransMilenio. Los beneficios que la nueva administración espera generar con esta estrategia, se verían reflejados en una mejora del sistema de transporte masivo de la ciudad, movilizándolo un mayor número de pasajeros, con mayor calidad, pero sin exceder las restricciones fiscales de la Nación y el Distrito, para financiar esta nueva oferta de infraestructura.

Ante esta situación, la FDN propuso a la nueva administración distrital, en enero de 2016, optimizar el diseño original de la PLMB, en el sentido de: i) maximizar las ideas de ahorro surgidas durante el proceso de Ingeniería de Valor realizado por la FDN en el primer semestre del año 2015, ii) tener en cuenta la restricción presupuestal establecida por el Gobierno Nacional y Distrital, por valor de 13,79 Billones de pesos, iii) considerar la devaluación que ha sufrido la moneda local frente al dólar americano, que ha causado un aumento en el costo del proyecto, y iv) introducir ajustes al diseño original como parte del mandato del ciudadano al Alcalde.

Fue así como la FDN y el Distrito, adelantaron la contratación de una serie de estudios y análisis, para buscar optimizar el valor del proyecto, sin reducir sus prestaciones. El objeto de una de estas consultorías es la elaboración de un estudio que compare alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá, PLMB, identificando y cuantificando

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

ahorros que optimicen el beneficio, teniendo en cuenta la disponibilidad presupuestal para la inversión y los costos de operación durante el ciclo de vida del proyecto.

Se suscribió el contrato 02/2016 con la firma SYSTRA, cuyos entregables son:

- Entregable 1: Plan de trabajo y cronograma
- Entregable 2: Estudio de experiencias internacionales en metros elevados y recomendaciones para el caso de Bogotá
- Entregable 3: Estudio de alternativas para optimizar el diseño de la PLMB
- Entregable 4: Recomendaciones para tipología elevada del tramo 1 de alternativa seleccionada
- Entregable 5: Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original
- Entregable 6: Análisis de sostenibilidad financiera del tramo 1
- Entregable 7: Cronograma general de ejecución por tramos, presupuesto preliminar y plan de inversiones
- Entregable 8: Elaboración de documento CONPES
- Entregable 9: Informe final

Por la extensión de todos estos entregables y con el fin de facilitar la lectura de muchos posibles interesados sobre el contenido de estos documentos, se determinó la conveniencia de elaborar el presente Resumen Ejecutivo, correspondiente a un número parcial de los entregables, que ya fueron entregados por la consultora para aprobación del Comité de Seguimiento de la Consultoría. Otro propósito de este Resumen Ejecutivo es satisfacer el compromiso contractual de contribuir a la elaboración del Documento CONPES, que le corresponde preparar al Departamento Nacional de Planeación.

1.1 Contexto del proyecto

El trazado propuesto en la ingeniería básica avanzada para la PLMB desarrollado por el Consorcio CL1 respondía a la necesidad de solucionar los problemas de movilidad en el corredor oriental de la ciudad, que es el más cargado y el que presenta los mayores retos a futuro. La propuesta de diseño para la PLMB fue desarrollada completamente con infraestructura subterránea. El replanteamiento del proyecto se realiza sobre la base del trazado original y sobre la optimización del tipo de infraestructura con posibilidades de inserción. Este proyecto de línea se sustentaba en tres pilares fundamentales:

- Tipología constructiva subterránea para el 100% del trazado, con dos técnicas constructivas para el túnel debido a las características geotécnicas de los suelos de la ciudad: un túnel excavado con tuneladora (TBM) desde Portal Américas hasta la estación Gran Colombia (Calle 45) y a partir de allí hasta la Calle 127 construcción de trinchera cubierta entre pantallas, ya que el uso del TBM podría ser no factible debido a la mala calidad de los suelos. La técnica de trinchera cubierta duplica los costos por kilómetro del TBM.
- Trazado desde el Portal Américas de TransMilenio a lo largo de las avenidas Villavicencio, Primero de Mayo, NQS, Calle 8 Sur, Calle 1, Carrera 10, Carrera 13 y Carrera 11 hasta la Calle 127. Según simulaciones de la SDM al horizonte 2030, esta configuración de trazado alcanzaría solamente un total de 79.919 embarques en la hora pico de la mañana según la matriz OD

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

- Identificación de la factibilidad de la inserción de una tipología de construcción diferente a la subterránea para de esta manera reducir costos de construcción e incertidumbre en la etapa de construcción
- Identificación de la factibilidad de un trazado ferroviario para el corredor seleccionado como idóneo para insertar la PLMB
- Identificación de un trazado que maximice la demanda de pasajeros en este nuevo sistema
- Identificación de corredores complementarios operados con troncales de TransMilenio que alimenten la PLMB
- Identificación de la factibilidad de la inserción de las estructuras propuestas:
 - Inserción de estaciones elevadas de intercambio con estaciones del sistema TransMilenio
 - Inserción de viaductos según condiciones geotécnicas, sísmicas y urbanas del corredor propuesto

1.3 Glosario

- BRT: *Bus Rapid Transit*
- CSC: Comité de Seguimiento de la Consultoría
- DNP: Departamento Nacional de Planeación
- FDN: Financiera de Desarrollo Nacional
- IDU: Instituto de Desarrollo Urbano
- MHCP: Ministerio de Hacienda y Crédito Público
- MR: Material Rodante
- PLMB: Primera línea de Metro de Bogotá
- Pphpd: Pasajeros por hora y por dirección
- SDM: Secretaría Distrital de Movilidad
- SITP: Sistema Integrado de Transporte Público
- TN: Terreno Natural
- TransMilenio (TM): Empresa de Transporte del Tercer Milenio S.A.
- Z-riel: nivel del riel

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. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES SOBRE METROS ELEVADOS Y RECOMENDACIONES PARA EL CASO DE BOGOTÁ

Una de las primeras tareas elaboradas en la presente consultoría fue la de estudiar 5 ejemplos a nivel mundial sobre las experiencias en ejecución de metros pesados elevados. Se analizaron los tramos elevados de sistemas de tipo metro en las ciudades de Ciudad de México, Santiago de Chile, Ciudad de Panamá, Singapur y Manila en Filipinas. Se seleccionaron estos ejemplos por las siguientes razones:

- Tener un nivel de servicio comparable al que se puede esperar para el metro de Bogotá (capacidad de pasajeros, velocidad máxima, inter-distancia entre paradas, velocidad comercial, seguridad, etc.).
- Tener similitudes en el ámbito urbano y natural con el caso de Bogotá: áreas urbanas con un alto nivel de crecimiento demográfico; inserción de las líneas en un contexto urbano muy denso; características geotécnicas parecidas y riesgo sísmico importante, etc.
- Tener un desarrollo de las líneas de metro integrado con la red de transporte existente



Figura 2: Ubicación de los 5 ejemplos de metro en el mundo

2.1 Conclusiones de la comparación

Manila y México: contraejemplos por su impacto visual desastroso, las rupturas urbanas (barrios desconectados), y la falta de integración urbana y física del viaducto.

- Línea 12 del metro de México: problemas importantes de concepción que llevaron a un cierre de la línea durante 1 año, imagen negativa asociada a la línea.
- Líneas 1, 2 y 3 del metro de Manila: infraestructura y estaciones de pobre calidad y sobre dimensionadas. Tecnología y unidades del material rodante inapropiadas con respecto a la carga de la línea, modelo de financiación sin ningún reparto de las responsabilidades y de los riesgos, ausencia de planeación de los transportes a mediano o largo plazo, proyectos con oportunidad financiera y/o inmobiliaria sin “efecto red” global buscado. Ausencia de coordinación de la política de desarrollo urbano de la ciudad: inserciones de metro en viaducto que impiden hoy en día otros desarrollos (prediales, viarios, urbanos, etc....) y degradan aún la calidad de vida 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

Línea 4 del metro de Santiago y líneas 1 y 2 del metro de Singapur como buenas referencias: introducción del metro en una red de transporte ya existente con un enfoque integrador BRT/autobús/metro. Para Singapur con un peaje urbano que alimenta los transportes colectivos, en Santiago con una integración retrasada pero que funciona. Infraestructuras adaptadas al tejido urbano (subterráneo en centro ciudad y viaducto en periferia).

Línea 1 del metro de Panamá de doble filo: falta de integración operativa (intermodalidad) y tarifaria. Preparación minuciosa de las contrataciones, armonización estética y de sistemas de las líneas 1 y 2.

2.2 Lecciones para el caso de Bogotá

- Prestar la atención necesaria a la elección y al dimensionamiento del material rodante: coordinar desde las fases iniciales los equipos especializados en infraestructura/trazado/vía por un lado y material rodante /operación por el otro para una adecuación completa de las dos organizaciones
- No desligar el diseño del material rodante del diseño de la vía en las fases de concepción
- Garantizar la interfaz entre los organismos encargados de los diferentes lotes (material rodante, infraestructura, sistemas) para que sean conocidas las obligaciones de los equipos sistemas/vías/trazado por un lado y material rodante por el otro
- Optimizar los costos mediante una planeación estratégica a mediano y largo plazo entre gestión predial, urbanismo y transporte para elegir la mejor opción/combinación entre túnel y viaducto, tanto en el centro de la ciudad como en la periferia
- Pensar en el costo global inversión/operación: los costos de inversión débiles a corto plazo pueden resultar muy costosos a largo plazo
- Planear, modelar y concebir una red de transporte en su globalidad desde el principio: la red debe de ser construida por etapas con el fin de aumentar su flexibilidad/capacidad de evolucionar y maximizar el efecto “red” (eficiencia creciente a medida de la ejecución de las realizaciones, ausencia de saturación de las líneas gracias a un reparto equilibrado de la demanda y una oferta de movilidad diversificada)
- Favorecer las asociaciones público/privadas para compartir las responsabilidades y los riesgos y mantener un buen nivel de servicio y de integración de todos los modos de transporte
- Diversificar las fuentes de ingresos en la medida de lo posible (comerciales, inmobiliarias, publicitarias, participación de las empresas, etc...)
- Acompañar el proyecto de transporte masivo con medidas compensatorias para los habitantes situados a lo largo del corredor, mediante la creación de espacios de calidad.
- Implementar una autoridad organizadora de transporte fuerte que gestione todos los modos de transporte, metro incluido, y con participación de los diferentes socios involucrados, para optimizar la coordinación de todos los agentes implicados en la ordenación del transporte público y en su financiación
- Para maximizar el valor inmobiliario del metro, colocar las estaciones cerca de grandes atractores urbanos (centros comerciales, centros de empleos, parques) limitando de esta manera las molestias para los habitantes vecinos del 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

3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA OPTIMIZAR EL DISEÑO DE LA PLMB

3.1 El proceso de simulaciones de las alternativas

En el proceso de identificación de alternativas para optimizar el diseño de la PLMB, la Secretaría de Movilidad de Bogotá tomó bajo su responsabilidad y recursos propios el desarrollo y mantenimiento de un modelo de transporte que simula los desplazamientos en transporte público y los modos de transporte privado. Este modelo de transporte se basa en un sistema de cuatro etapas (generación, distribución, selección y asignación de viajes), por primera vez utilizado para las simulaciones del comportamiento de la demanda de transporte masivo en Bogotá. La utilización de esta herramienta permite simular los viajes a ser servidos con una red de transporte masivo incluido el metro. Las simulaciones permiten establecer además los viajes de usuarios que podrían provenir de los modos privados como el carro o la moto y que verían en el modo metro una opción de desplazamiento más rápida y eficiente.

La SDM calibró el modelo de transporte para 2016 utilizando para ello los flujos de pasajeros de TransMilenio y otros datos de transporte actualizando la matriz de desplazamientos Origen-Destino (OD) de la ciudad tomando en consideración los actuales proyectos de transporte. Para generar simulaciones a los horizontes futuros (2020, 2030 y 2050) se procedió a la revisión de las proyecciones de población y empleo para cada zona de transporte así como de los nuevos desarrollos previstos en el plan de ordenamiento territorial que ha sido revisado por la actual Administración Distrital. La oferta de transporte público de la ciudad también fue revisada según los lineamientos de política de movilidad para la ciudad que desarrolla la SDM y es la base para la construcción de todos los escenarios de trazado analizados.

El proceso de simulaciones comenzó con la simulación de la demanda del proyecto de línea de metro considerado en la ingeniería básica avanzada del Consorcio CL1, bajo el nuevo marco de matriz OD y oferta de transporte revisados.

3.2 El proceso de identificación de las alternativas

Con base en los objetivos del proyecto y algunas de las lecciones internacionales para el caso de Bogotá, se determinó cuáles serían tanto las alternativas de trazado como de tipología de infraestructura, para compararlas con la alternativa base o proyecto de PLMB original. Específicamente, se adelantó un análisis multicriterio de comparación de trazados y de diferentes configuraciones de infraestructura en el cual se compararon 8 alternativas, la primera de las cuales corresponde al trazado y configuración planteado por el Consorcio CL1, para luego combinar infraestructura subterránea y de viaducto en diferentes porcentajes y trazado hasta llegar a una alternativa 100% viaducto (ver siguiente figura).

Los corredores previstos para la PLMB en el proyecto de ingeniería básica del Consorcio CL1 fueron analizados con el fin de establecer la viabilidad de una inserción diferente a la subterránea. Resultado de este análisis fue la confirmación, de acuerdo a las características urbanas de estos corredores, de la factibilidad de la inserción de la infraestructura viaducto a lo largo de las avenidas Villavicencio, Primero de Mayo, NQS, Calle 8 Sur y Calle 1. No es el caso en las avenidas Carrera 10ª, Carrera 13 y Carrera 11 hasta la Calle 127, en la continuación del trazado original, porque sus características urbanas no son propicias para la inserción de este tipo de infraestructura. Por lo tanto se consideró la

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

opción de la Avenida Caracas para conformar escenarios de trazado alternativos cuando se considera la inserción de la infraestructura en tipología viaducto.

Con el objetivo de comparar las alternativas/escenarios, se equipararon el número de estaciones en 22 (incluida la alternativa base), hasta la Calle 127 y un mismo escenario de oferta de transporte y matriz OD en el horizonte 2030. Posteriormente y para la alternativa seleccionada, se ha realizado una simulación al horizonte 2050 con el objetivo de conocer sus características y desempeño de transporte para el dimensionamiento del sistema metro.

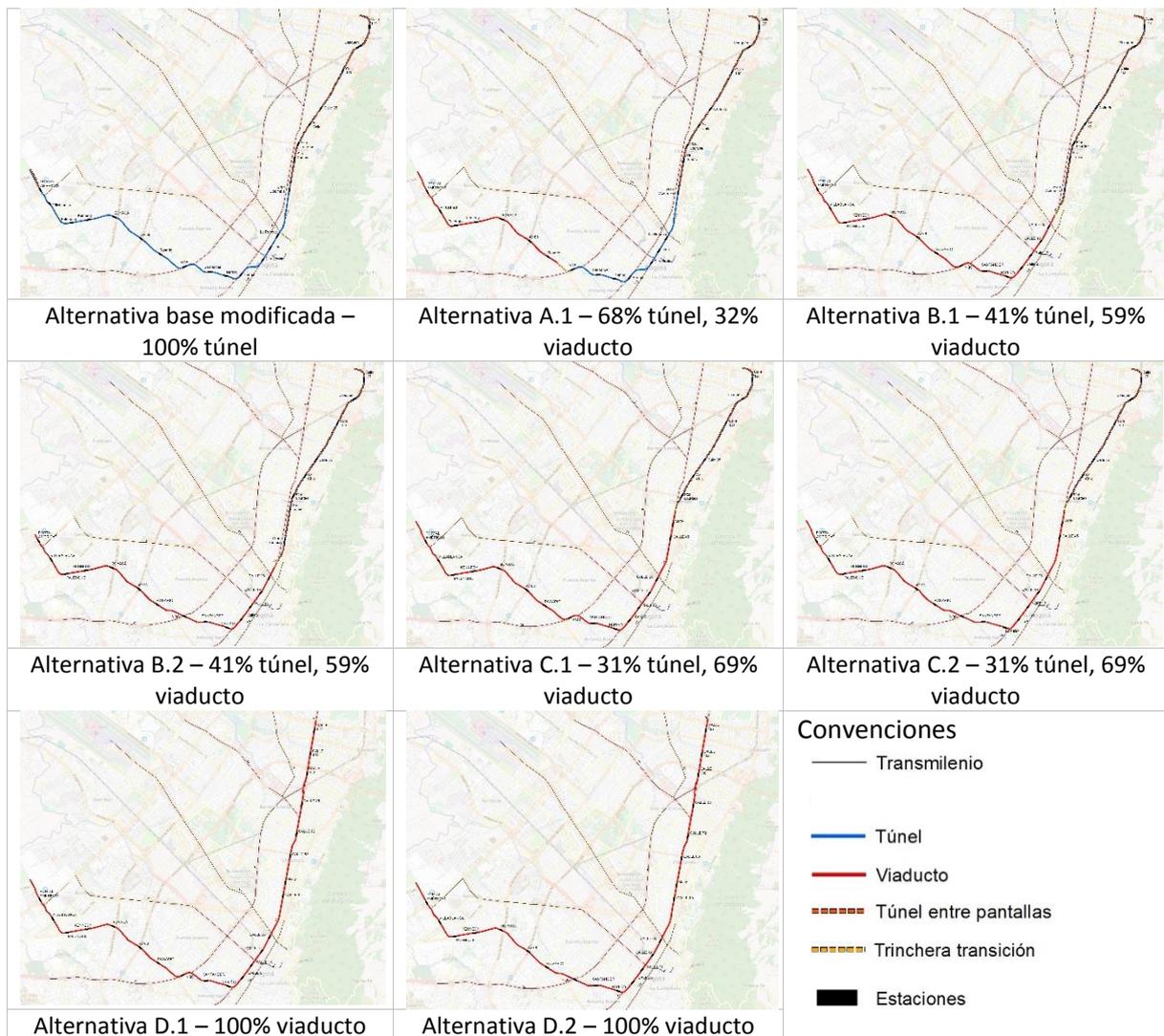


Figura 3: Alternativas a la configuración de trazado e infraestructura comparadas y evaluadas (Fuente: SYSTRA)

Las características de cada alternativa se pueden ver en la tabla presentada a continuación. Para cada una, se detallan el tipo de infraestructura, su longitud y el número de estaciones con las que se realizó este primer análisis. Cabe resaltar que en este primer análisis, las longitudes estimadas para cada alternativa no estaban fundamentadas en un trazado detallado sino preliminar. Posteriormente se afinaron todas las características para la alternativa 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

Familias para Modelación	Alternativas para Multicriterio	Características							
		Tipo de infraestructura		Longitud de la línea en metros			N° estaciones		
		Tramo 1	Tramo 2	Longitud túnel (m)	Longitud viaducto (m)	Total (m) ²	Elevada	Subterr.	Total
A	Alt. Base modificada	Subterr.	Subterr.	27 063	0,0	27 063	0	22	22
	A.1	Elevado	Subterr.	18 285	8 828	27 113	7	15	22
B	B.1	Elevado	Subterr.	10 993	15 860	26 853	14	8	22
	B.2	Elevado	Subterr.	10 993	15 681	26 674	14	8	22
C	C.1	Elevado	Parcial subterr. elevado	8 273	18 573	26 846	16	6	22
	C.2	Elevado	Parcial subterr. elevado	8 273	18 394	26 668	16	6	22
D	D.1	Elevado	Elevado	0	25 829	25 829	22	0	22
	D.2	Elevado	Elevado	0	25 651	25 651	22	0	22

Tabla 1- Síntesis de las principales características de las alternativas

Los siguientes componentes de evaluación fueron aplicados a las 8 combinaciones de trazado y tipologías de infraestructura. En total, se consideraron 31 criterios de evaluación:

COMPONENTE	DEFINICIÓN
Impacto ambiental	El componente de análisis relativo al impacto ambiental, se enfocó en evaluar las restricciones ambientales que podrían impactar las alternativas propuestas, así como, analizar de manera comparativa cada una de las alternativas con relación al medio involucrado, seleccionando aquella que racionalice el uso de los recursos naturales y cause el menor impacto negativo al medio ambiente.
Proceso constructivo	Este componente evaluó los impactos del proyecto sobre el ambiente de vida de los habitantes que viven a lo largo del corredor del trazado durante el periodo de las obras de construcción de la línea de metro.
Urbano-paisajístico	El componente urbano-paisajístico evaluó la coherencia de la inserción del proyecto con la dinámica urbana, así como, la identificación del potencial de modificación para mejorar la competitividad y calidad de vida de los ciudadanos
Experiencia del usuario	Este componente de análisis trató de indagar acerca de la percepción que tendría el usuario del sistema al utilizar frecuentemente el nuevo sistema de transporte implantado. Los objetivos perseguidos en este ámbito estuvieron vinculados a la experiencia de viaje para los usuarios, así como la percepción de seguridad e higiene que tendrán los usuarios al hacer uso de la infraestructura y el servicio de transporte

² Incluye colas de maniobras en las estaciones terminales en ambos extremos 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

COMPONENTE	DEFINICIÓN
Beneficios sociales	Este componente de análisis se relacionó con los aspectos relativos a la demanda y a la oferta de transporte. Los objetivos perseguidos se encontraban vinculados a los impactos positivos que debe tener la mejora del sistema de transporte público en la movilidad.
Financieros	Se enfocó en el objetivo de establecer la inversión que permita la ejecución presupuestal establecida por la Nación y el Distrito Capital para el desarrollo de la PLMB y de los sistemas de transporte masivo conexos a ella (nuevas troncales de Transmilenio y reconfiguración de las actuales).
Riesgos	El componente riesgos cubre todos los aspectos relacionados con la perpetuidad de la infraestructura de la línea de metro y sus impactos en fases provisionales y definitivas. En el marco de este análisis, será tomado en cuenta para cada alternativa los impactos de los trabajos, los riesgos geotécnicos y sísmicos, los impactos sobre la explotación de la línea y sobre el territorio que la atraviesa.

Tabla 2- Definición de los componentes analizados en la matriz multicriterio – Fuente: SYSTRA

Para cada uno de los componentes se definieron indicadores de comparación, con el cuidado de utilizar como base los estudios y diseños realizados por el Consorcio CL1 para el trazado con infraestructura subterránea (desarrollado a nivel de ingeniería básica), pero adaptándolos al nivel de ingeniería bajo el cual se han desarrollado las demás alternativas de trazado e infraestructura (nivel de prefactibilidad).

Los indicadores y sus criterios asociados, se relacionan en la siguiente tabla.

CRITERIO	INDICADORES
Componente Impacto Ambiental	
Fuentes hídricas	Interferencia con cuerpos de agua
Suelo	Generación de Escombros durante la obra
Paisajismo	Afectación arbórea
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por la operación del sistema
	Generación de vibraciones por la operación del sistema
Componente Proceso Constructivo	
Rendimiento	Tiempo total de construcción
Daño emergente y lucro cesante	Perturbación a vecinos comerciales
Perturbaciones	En el tráfico vehicular
	En la operación del BRT
Ruido y vibraciones	Generación de ruido por la construcción del sistema
	Generación de vibraciones por la construcción del sistema
Redes	Interferencias con redes principales
Componente Urbano-Paisajístico	
Renovación urbana	Potencial de generación de Espacio Público
	Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios
	Potencial de recuperación de zonas deprimidas
Integración/des-integración urbana	Afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico
	Proximidad con edificaciones
	Impacto visual

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

Componente Experiencia al usuario	
Percepción en el uso del sistema de transporte	Apropiación de la ciudad
	Percepción de seguridad
	Salubridad e higiene
CRITERIO	INDICADORES
Componente Beneficios Sociales	
Mejoras de transporte	Pasajeros transportados (HP)
	Ahorros en tiempo
Integración BRT	Facilidad de conexión metro-BRT
Componente Financiero	
Costos	Costos de inversión proyecto metro por km (con predios)
	Costos de operación y mantenimiento
Componente Riesgos	
Riesgo geotécnico	Subsistencia y derrumbes
Riesgo sísmico	Riesgo sísmico para las estructuras
Riesgo sobre el cronograma	Incertidumbre sobre el rendimiento de construcción
Riesgo de gestión predial	Capacidad de gestión para la adquisición predial
Riesgo financiero	Incertidumbre sobre el costo del proyecto

Tabla 3- Definición de los criterios analizados en la matriz multicriterio – Fuente: SYSTRA

La figura síntesis de pesos relativos mostrada a continuación, presenta la valoración relativa para cada uno de los componentes, criterios e indicadores adoptados para este análisis. Los pesos relativos para los componentes, criterios e indicadores del análisis multicriterio, fueron definidos por el CSC con la participación de autoridades del gobierno nacional, autoridades del Distrito de Bogotá y la contraparte técnica de la FDN³.

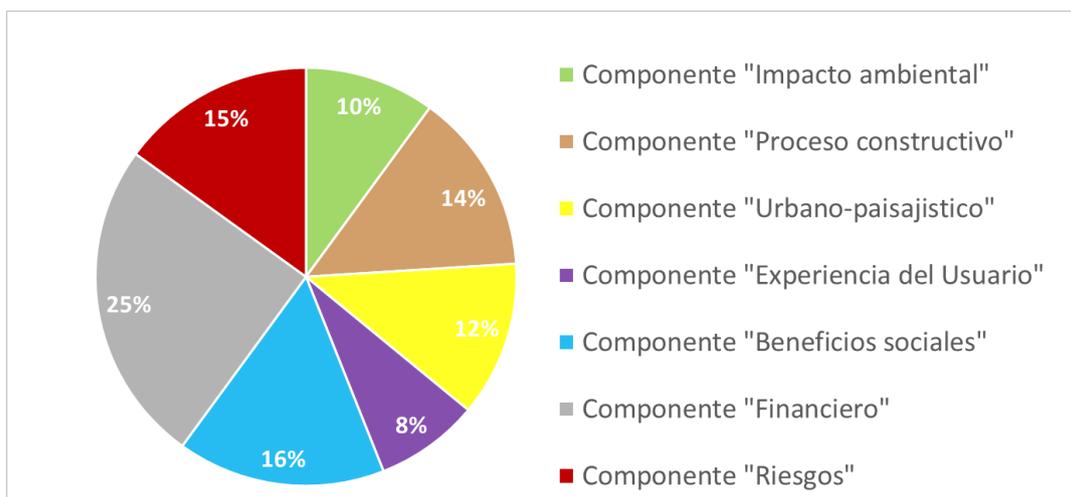


Figura 4: Peso de los componentes de evaluación – Fuente: Comité de Seguimiento Consultoría (CSC)

³ Ministerio de Transporte: Walid David, Jalih, Asesor Ministro; Edgar Iván Cano, Asesor de la UMUS. DNP: Luis Fernando Mejía, Subdirector General; Cesar Peñalosa, Jefe Unidad de Infraestructura; Luis Felipe Lotta, Jefe División Transporte; María Carolina Lecompte, Especialista. Distrito de Bogotá: Juan Pablo Bocarejo, Secretario de Movilidad; Oscar Diaz, Asesor Alcalde; Sandra Angel, Subdirectora General de Infraestructura del IDU; José Félix Gómez, Subdirector General de Desarrollo del IDU; María Fernanda Ortiz, Asesora Secretaria de Movilidad. FDN: Diego Sanchez, Gerente Técnico de Estructuraciones; Juan Camilo Pantoja, Director de Proyectos; Gonzalo Espinal, Asesor; Andres Escobar, Gerente del Proyecto.

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

Los criterios de cada componente fueron propuestos por SYSTRA con base en la experiencia mundial que tiene la empresa en la evaluación de alternativas de sistemas de transporte masivo ferroviario. Cabe anotar que gran parte de estos criterios fueron utilizados en el estudio precedente para la PLMB.

Una vez establecido lo anterior, se procedió a definir la metodología de calificación, la cual se fundamentó en lo siguiente:

- **Calificación cuantitativa:** las notas se distribuyen entre 5 grupos de “A” a “E”, siendo la A la mejor nota y la E la menor nota. Para todos los criterios cuantitativos, los resultados siempre se distribuirán en estas 5 categorías, por tanto, siempre se tendrán en las calificaciones cuantitativas una “A” y una “E” en la calificación.
- **Calificación cualitativa:** las notas podrán ser distribuidas entre 5 grupos de “A” a “E”, pero no es obligatorio que siempre exista una mejor o peor notada. La apreciación cualitativa se basa en el juicio de experto.

De esta forma, los resultados obtenidos para cada uno de los criterios, fueron:

CRITERIO CALIFICADO	BASE MODIF	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Criterio “Fuentes hídricas”, indicador interferencia con cuerpos de agua								
Cursos agua interferidos	3	4	3	3	3	3	0	0
Calificación	D	E	D	D	D	D	A	A
Criterio “Suelo”, indicador generación de escombros durante la obra								
M ³ de escombros en obra	7.405.370	6.445.054	5.029.326	5.032.874	4.500.259	4.503.829	2.519.391	2.522.961
Calificación	E	E	C	C	C	C	A	A
Criterio “Paisajismo”, indicador afectación arbórea								
N° Arboles impactados	1.877	1.987	2.146	2.498	2.149	2.501	1.896	2.248
Calificación	A	A	C	E	C	E	A	C
Criterio “Ruido y vibraciones”, indicador generación de ruido por la operación del sistema								
Valor en (dB) en operación	70,0	78,0	85,9	85,9	88,2	88,2	95,0	95,0
Calificación	A	B	D	D	D	D	E	E
Criterio “Ruido y vibraciones”, indicador generación de vibraciones por la operación del sistema								
N° predios impactados	732	420	265	271	211	217	89	95
Calificación	E	C	B	B	A	B	A	A
Criterio “Rendimiento”, indicador tiempo de construcción								
Tiempo construc. meses	66	66	56	52	49	42	40	40
Calificación	E	E	E	D	C	B	A	A
Criterio “Daño emergente y lucro cesante”, indicador perturbación a vecinos comerciales								
UN/ Rendimiento	23,5	23,5	21,4	20,0	18,6	16,0	15,9	16,0
Calificación	E	E	D	C	B	A	A	A

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

CRITERIO CALIFICADO	BASE MODIF	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Criterio "Perturbaciones al Tráfico", indicador perturbaciones al tráfico vehicular								
Nota según cierres vía	3,7	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	4,0	4,0
Calificación	B	B	B	B	B	B	A	A
Criterio "Perturbaciones al Tráfico", indicador perturbaciones en la operación del BRT								
Km BRT impactados	3,40	3,40	4,25	3,77	7,03	6,55	14,6	14,12
Calificación	A	A	B	A	C	B	E	E
Criterio "Ruido y Vibraciones", indicador generación de ruido por la construcción del sistema								
Valor en (dB durante obra)	96,7	90,7	84,8	84,8	83,0	83,0	77,4	77,4
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A
Criterio "Ruido y Vibraciones", indicador generación de vibraciones por la construcción del sistema								
N° predios impactados	569	444	389	408	357	375	266	285
Calificación	E	C	C	C	B	B	A	A
Criterio "Redes de Servicios Públicos", indicador interferencias con redes principales								
Ml redes impactadas	3.845	8.016	8.133	8.524	7.935	8.516	8.987	9.568
Calificación	A	D	D	E	D	E	E	E
Criterio "Renovación Urbana", indicador potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios								
M ² potencial inmobiliario	515.951	1.080.927	1.348.209	1.218.051	1.454.456	1.321.914	1.515.999	1.383.457
Calificación	E	C	A	B	A	A	A	A
Criterio "Renovación Urbana", indicador potencial de generación de espacio público								
M ² espacio público	103.190	104.571	110.860	102.024	115.355	106.519	112.917	104.081
Calificación	E	E	B	E	A	D	A	E
Criterio "Renovación Urbana", indicador potencial de recuperación de zonas deprimidas								
M ² zonas potenciales	178.049	178.049	155.887	155.887	155.887	155.887	214.981	214.981
Calificación	D	D	E	E	E	E	A	A
Criterio "Impacto Urbano", indicador afectación de barrios con interés arquitectónico y/o urbanístico								
M ² edificac. impactadas	128.653	311.858	354.653	380.640	547.361	573.348	746.261	772.248
Calificación	A	B	B	B	D	D	E	E
Criterio "Impacto Urbano", indicador proximidad con edificaciones								
Ml fachadas impactadas	5.041	5.460	7.225	7.773	6.410	6.958	5.898	6.446
Calificación	A	A	D	E	C	D	B	C
Criterio "Impacto Urbano", indicador impacto visual								
% de llenos / vacíos	0%	10%	13%	14%	18%	19%	22%	23%
Calificación	A	C	C	D	E	E	E	E
Criterio "Percepción en el uso del sistema de transporte", indicadores apropiación 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

CRITERIO CALIFICADO	BASE MODIF	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Según tramos elevados	3,4	3,4	3,8	3,8	4,6	4,6	5	5
Calificación	D	D	C	C	B	B	A	A
Criterio percepción de seguridad								
Según estaciones elevadas	3,4	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8	4,2	4,2
Calificación	E	D	C	C	C	C	B	B
Criterio de percepción de salubridad e higiene								
Según tramos subterráneos	100%	68%	41%	41%	31%	31%	0%	0%
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A
Criterio "Mejoras de transporte", indicador pasajeros transportados (HP)								
N° pasajeros en la HP	79 919	82 445	79 929	79 929	82 464	82 464	82 513	82 513
Calificación	E	B	E	E	B	B	A	A
Criterio "Mejoras de transporte", indicador ahorros en tiempo								
Ahorros en tiempo (mn)°	776 552	827 860	804 916	804 916	819 320	819 320	886 520	886 520
Calificación	E	C	D	D	D	D	A	A
Criterio "Integración BRT", indicador facilidad de conexión BRT-Metro								
Estac. BRT-Metro	8	8	8	8	10	10	14	14
Estación elev.	0	3	8	8	10	10	14	14
Calificación	E	E	D	D	C	C	A	A
Criterio "Costos", indicador costos de inversión línea de metro por kilómetro (incluye predios)								
Valor (MM COP/Km) ⁴	556.319	510.457	468.271	472.054	457.355	460.700	411.383	414.540
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A
Criterio "Costos", indicador costos de operación y mantenimiento								
USD/tren.km en HP	28,55	28,31	27,87	27,88	27,93	27,94	27,48	27,48
Calificación	E	D	B	B	C	C	A	A
Criterio "Riesgo geotécnico", indicador subsidencia y derrumbes (características geotécnicas)								
Según estructura/suelo	3,3	3,7	4,0	4,0	4,3	4,3	4,6	4,6
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A
Criterio "Riesgo sísmico", indicador riesgo sísmico para las estructuras								
Según potenc. sísmico	4,6	4,2	3,8	3,8	3,4	3,4	3,0	3,0
Calificación	A	B	C	C	D	D	E	E
Criterio "Riesgo sobre el Cronograma", indicador incertidumbre sobre el rendimiento de construcción								
Según complejidad	3,0	3,2	3,4	3,4	3,7	3,7	3,8	3,8

⁴ Para el cálculo de estos valores de inversión se utilizaron los indicadores de costos unitarios, incluidos en la tabla 21 del Anexo

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

CRITERIO CALIFICADO	BASE MODIF	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A
Criterio "Riesgo de Gestión Predial", indicador capacidad de gestión para la adquisición predial								
N° de predios a gestionar	813	937	1.027	1.088	1.005	1.067	887	949
Calificación	A	C	D	E	D	E	B	C
Criterio "Riesgo Financiero", indicador incertidumbre sobre el costo del proyecto								
Según complejidad	3,0	3,4	3,8	3,8	4,2	4,2	4,6	4,6
Calificación	E	D	C	C	B	B	A	A

Tabla 4 - Valores de resultados y calificación de los indicadores estudiados – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

Una vez concluida la evaluación de cada uno de los criterios, se procedió a realizar la identificación de las alternativas más viables, con base en la evaluación de la matriz multicriterio, teniendo en cuenta dos etapas:

- Comparación entre las alternativas dentro una misma familia
- Comparación entre todas las alternativas sin distinción de familia

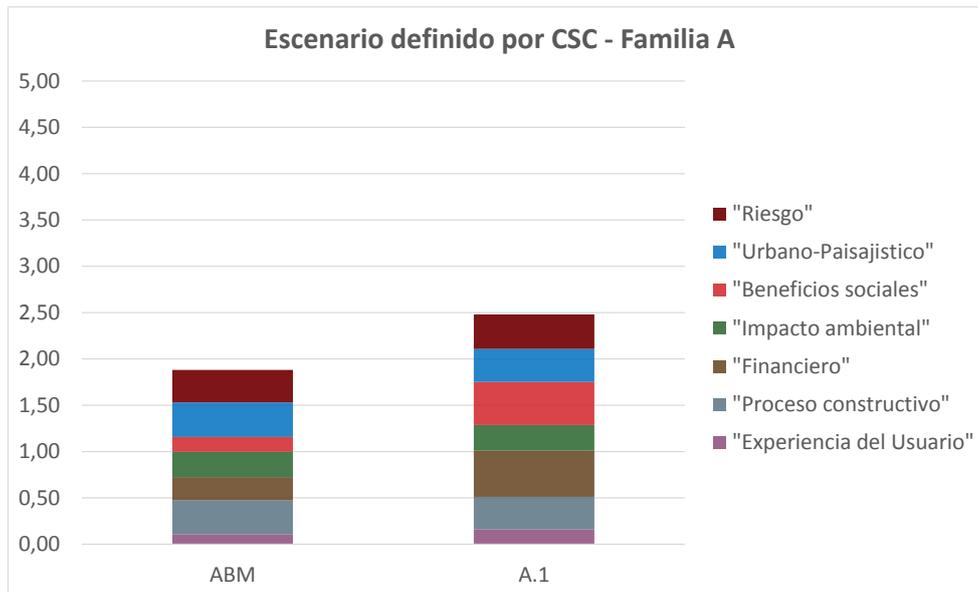


Figura 5: Resultados del AMC – Familia A⁵

Las alternativas de la familia A presentan una nota global bastante débil: la alternativa ABM obtiene un puntaje total de 1,88/5 y la A.1 de 2,48/5. El componente financiero es el elemento discriminante entre las 2 alternativas, la A.1 siendo menos costosa que la ABM.

⁵ ABM: Alternativa base Modificada

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

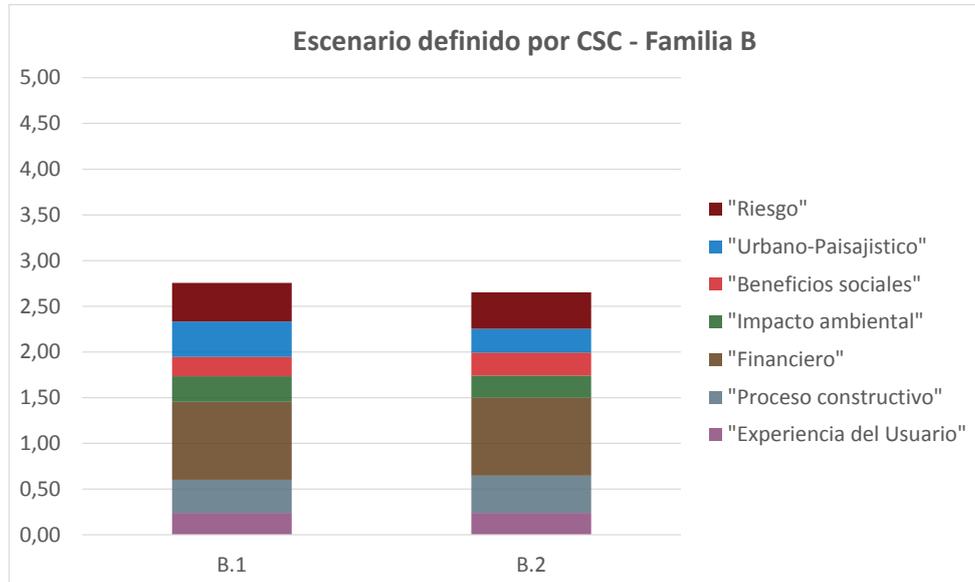


Figura 6: Resultados del AMC – Familia B

En la familia B, las alternativas presentan pocas diferencias (nota global de 2,76/5 para B.1 y 2,65/5 para B.2).

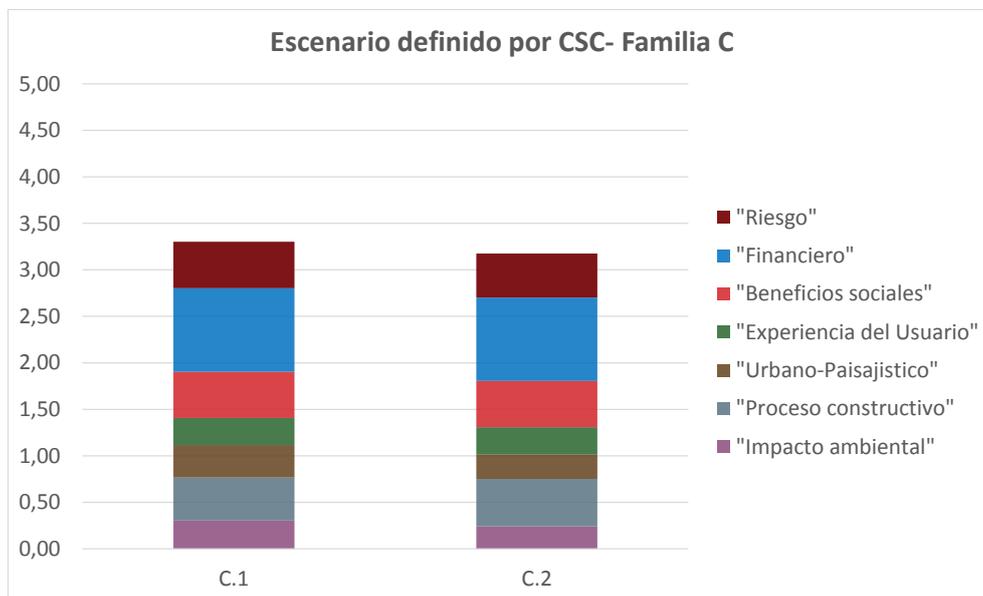


Figura 7: Resultados del AMC – Familia C

Para la familia C, los resultados obtenidos por cada alternativa no se diferencian mucho una de la otra (3,30/5 para la C.1 y 3,18/5 para C.2). La diferencia principal entre las dos alternativas reside en el componente financiero ya que la C.2 resulta más costosa que la C.1.

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

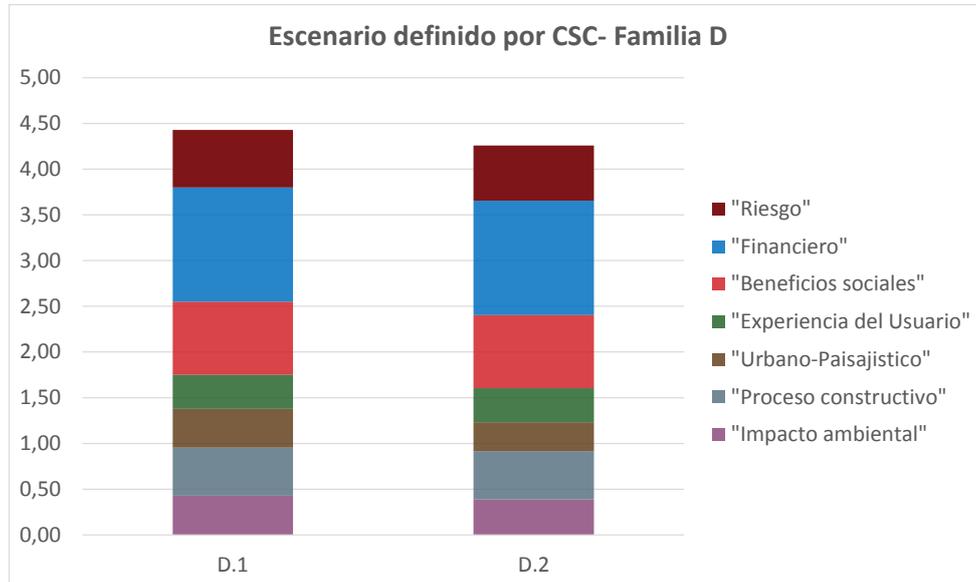


Figura 8: Resultados del AMC – Familia D

La familia D cuenta con las alternativas que presentan los mejores resultados: 4,43/5 (alternativa D.1) y 4,26/5 (alternativa D.2). Cabe destacar aquí que, aún cuando las ponderaciones de los diferentes criterios se varíen, los resultados finales para esta familia de alternativas siempre se situarán como los más altos, debido a la robustez de sus características de todo tipo.

A continuación, se presentan los resultados de todas las alternativas de estudio discriminados por componentes.

Componente	Familia A		Familia B		Familia C		Familia D	
	ABM	A.1	B.1	B.2	C.1	C.2	D.1	D.2
"Impacto ambiental"	0,27	0,28	0,28	0,24	0,30	0,24	0,43	0,39
"Proceso constructivo"	0,37	0,35	0,36	0,41	0,46	0,51	0,53	0,53
"Urbano-Paisajístico"	0,37	0,36	0,39	0,26	0,35	0,26	0,42	0,32
"Experiencia del Usuario"	0,11	0,16	0,24	0,24	0,29	0,29	0,37	0,37
"Beneficios sociales"	0,160	0,465	0,211	0,252	0,497	0,497	0,800	0,800
"Financiero"	0,25	0,50	0,85	0,85	0,90	0,90	1,25	1,25
"Riesgo"	0,35	0,37	0,42	0,40	0,50	0,47	0,63	0,60
TOTAL	1,88	2,48	2,76	2,65	3,30	3,18	4,43	4,26

Tabla 5 - Resultado final global del análisis multicriterio según escenario definido por CSC – Fuente: SYSTRA

De manera general, las alternativas de la familia D aparecen más eficientes que las otras. Esto se explica principalmente por el hecho de que no sólo el componente financiero sea más ventajoso sino también los beneficios sociales más importantes en términos de volúmenes de pasajeros, de facilidad de conexión entre modos y ahorros de tiempo.

La tipología viaducto obtuvo bajos puntajes en cuanto al impacto urbano-paisajístico pero altos puntajes en el resto de criterios, resultando finalmente mejor puntuada la alternativa que cuenta con un trazado 100% elevado a lo largo de las avenidas Villavicencio, Primero de Mayo, Calle 8 sur, Calle 1

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 y Avenida Caracas. La Alternativa D.1 es la que obtiene la mayor nota (**4,43**) por tanto es la alternativa seleccionada (ver siguiente figura).

Cabe resaltar que siendo la tipología viaducto la que tiene un mayor impacto urbano-paisajístico es necesario concebir e implantar un proyecto que mitigue este impacto. Existen cuatro acciones que son desarrolladas en la definición del proyecto:

- Trazado adaptado a la configuración urbana de las avenidas para evitar al máximo los impactos sobre los predios adyacentes sin detrimento del desempeño ferroviario del sistema (ver Anexo de trazado).
- Ancho del tablero: configuración de un tablero de viaducto lo más angosto posible.
- Esbeltez del viaducto: a mayor altura del tablero menor impacto visual a nivel del peatón y mayores posibilidades de paso de la luz y el sol
- Configuración arquitectónica de las estaciones lo más ligera posible para disminuir el impacto visual de esa estructura.

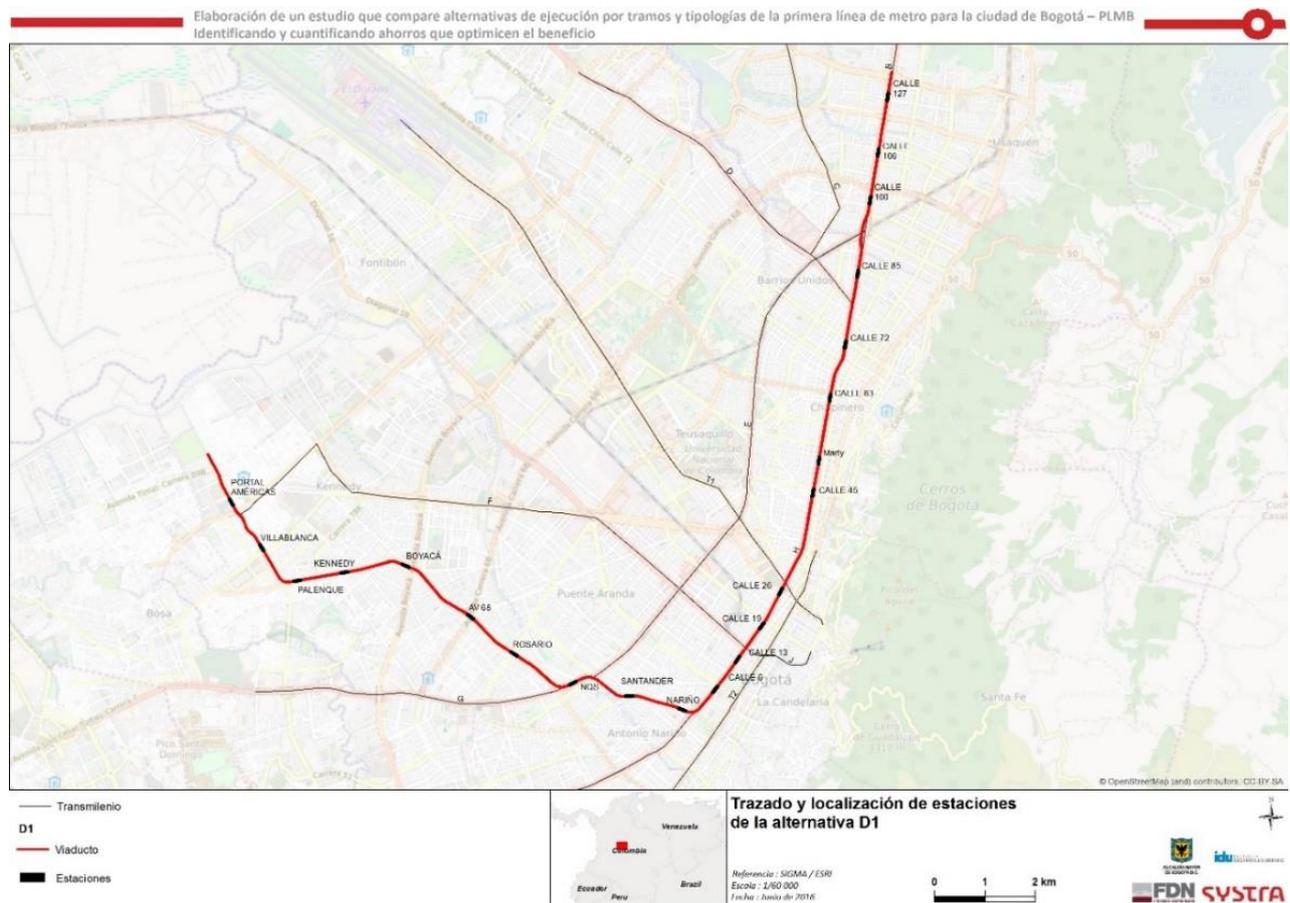


Figura 9: Alternativa D.1 seleccionada, trazado a largo plazo (Fuente: SYSTRA)

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

4. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE OPCIONES DE INVERSIÓN FRENTE AL TRAZADO ORIGINAL

La alternativa de trazado seleccionada D.1 cuenta con 24,5 km entre estaciones Portal Américas y Calle 127, más 5 km de un ramal técnico hasta el patio-taller, en el predio denominado Bosa 37 (según diseño del año 2015), más 0,6 km del nodo de terminación.

Hasta este momento de la consultoría la variable costo por kilómetro había sido incluida como uno de los diferentes criterios utilizados. Después de seleccionada la alternativa D.1 como trazado de largo plazo, el objetivo de la siguiente etapa de la consultoría era identificar la mejor utilización del presupuesto asignado, comparando diferentes longitudes de primera etapa de viaducto, estaciones y troncales integradas o de alimentación.

El principio fundamental es que cuantos más usuarios tenga el metro, mayores son sus beneficios económicos y sociales, expresados en ahorro de tiempo para ellos y para el resto de los bogotanos que se verían beneficiados de una menor congestión, menor contaminación, etc. El segundo criterio importante en esta etapa del estudio se relacionaba con la calidad del servicio, entendida ésta como la menor cantidad y tiempos de trasbordo, y menores tiempos de espera en las estaciones del sistema.

Como se mencionó en la introducción, el Gobierno Nacional y el Distrital establecieron una restricción presupuestal por valor de 13,79 Billones de pesos, desembolsables en 5 años. Para establecer el valor del techo presupuestal en pesos de 2016, el MHCP y la Secretaría Distrital de Hacienda descontaron los flujos de vigencias futuras asignadas al metro, usando las tasas de interés de crédito vigentes a mediados de 2016, llegando a un valor presente de 12,82 billones COP.

A partir de este tope presupuestal, era requerido identificar qué sistema de transporte masivo (metro + troncales alimentadoras) podía generar el mayor beneficio a la comunidad:

- Contando con un techo presupuestal de 12,82 billones COP, era posible construir del 100% del trazado de la alternativa D.1 seleccionada, hasta la Calle 127, pero agotando los recursos, sin dejar posibilidades de invertir en troncales que alimentaran al metro para aumentar su volumen de usuarios y de ahorro de tiempo.
- Por tanto, se realizó un segundo ejercicio de comparación de hasta dónde sería conveniente construir el Tramo 1 de la línea (llamado nodo de terminación) para además viabilizar una red de troncales alimentadoras.

Se identificaron múltiples nodos de terminación posibles para que el efecto sobre los abordajes totales de los sistemas de transporte masivo (metro + Troncales TM) se maximizara en relación con la inversión realizada, a la vez que se respetara al máximo la continuidad deseada de los desplazamientos de los usuarios, generando el mínimo de transferencias bus-metro-bus, lo cual implica una menor ruptura de carga entre el Tramo 1 y las troncales de TransMilenio.

Los nodos de terminación analizados a fondo fueron: Calle 26, Calle 63, Calle 72, Calle 100 y Calle 127. Una vez definidos los nodos de terminación, se estimaron los costos de inversión de la línea de metro, para posteriormente identificar las troncales alimentadoras de TransMilenio que podrían construir con los recursos remanentes. En este punto es importante explicar que las troncales compañeras de cada alternativa de longitud de metro se seleccionaron con criterio de complementariedad, teniendo como restricción que un tramo de troncal solo es viable operativamente si sus extremos terminan en un

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

patio o en otra troncal. Al conjunto de inversiones de una línea de metro hasta cierto nodo de terminación, sumado a un grupo de troncales alimentadoras, se le denomina “Canasta de Inversión”.

Para cada una de las cinco canastas se estimó el costo de inversión, cuyos resultados detallados se resumen en la siguiente tabla. Posteriormente, a los costos para la construcción del viaducto se les añadieron los de aquellas inversiones necesarias para su adecuado funcionamiento, dentro de los cuales se encuentra el costo de construcción del ramal técnico, de la cola de maniobras de retorno en el nodo de terminación y de las estaciones de integración con TransMilenio.

Asimismo, se consideraron como costos comunes a todas las “canastas”, la adecuación y reconfiguración de las vías utilizadas, desde la Villavicencio -que en sus primeros kilómetros no existe- hasta la troncal Caracas o Autonorte -que es necesario adecuar tanto en sus estaciones de integración como en las calzadas. Cabe destacar que en todos los casos, la troncal Carrera Séptima es considerada dentro de la red de transporte masivo, aunque su financiación no hace parte del presupuesto asignado para la PLMB. Su ejecución está garantizada con recursos propios del Plan de Desarrollo y por lo tanto no hizo parte de las “canastas”.

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 hasta el nodo final (km)	14,3	18,4	19,5	22,4	24,5
Costo PLMB (viaducto, estaciones, sistemas, MR) en MM COP ⁶	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
Reconfiguración troncal Caracas	642 852	532 365	501 780	648 738	810 105
Reconfiguración 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
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

Tabla 6 - Costos de la PLMB, de la reconfiguración de troncales en corredor del metro y de troncales alimentadoras (MM COP) según opciones de nodo de terminación – Fuente: SYSTRA con datos del IDU y SDM

⁶ 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

La obtención de los valores correspondientes a los costos de la PLMB, se pueden consultar en la tabla 22 del Anexo. Igualmente en la tabla 23 del Anexo se puede consultar, el valor de las nuevas troncales de la anterior tabla.

La siguiente figura presenta la distribución del presupuesto de inversión según canastas de oferta de transporte terminando en Calle 26, Calle 63, Calle 72, Calle 100 y Calle 127, comparándola con una alternativa de referencia subterránea hasta la Calle 100. En la parte superior se señalan los abordajes adicionales a masivos que atendería cada canasta en al año 2030, según el modelo de transporte.

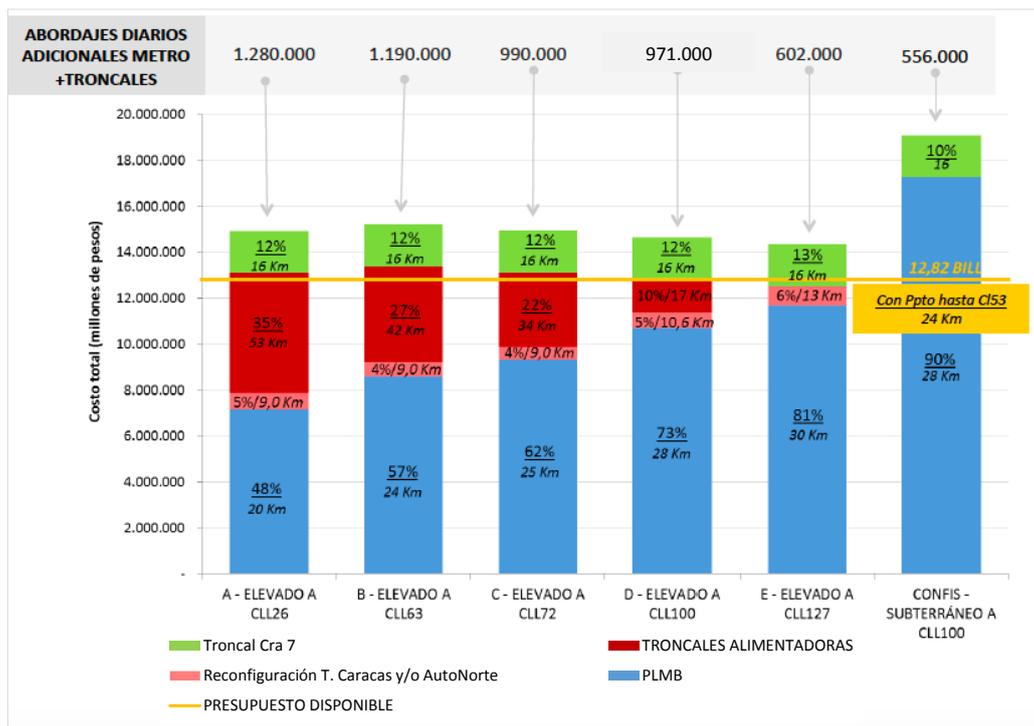


Figura 10: Distribución del presupuesto de 12,82 billones COP según canastas de inversión en infraestructura de transporte

4.1 Evaluación de las opciones de canastas

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)

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 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, fueron:

Calidad del servicio de transporte para cada canasta	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
Viajes con O/D en nodo terminación (pasajeros HP horizonte 2030)	2 937	7 315	9 666	9 710	3 253
Calificación	E	B	A	A	E
Nivel de servicio en la troncal de TM más cargada (% en HP horizonte 2030)	1,57	1,47	1,37	1,47	1,50
Calificación	E	C	A	C	D

Tabla 7 - Valores de resultados y calificación de la calidad del servicio de transporte para cada canasta – Fuente: SYSTRA y simulaciones SDM)

La Canasta C -Calle 72- es la que obtiene la mayor calificación en cuanto a la calidad del servicio de transporte cuando se cuantifican los dos indicadores que miden este criterio. Las características de los atractores/generadores de viajes alrededor de este nodo permiten a los usuarios de la PLMB realizar su viaje directamente a este nodo con un menor número de trasbordos. Por otro lado, el nivel de servicio de las troncales en la configuración de este nodo, medido como la relación entre la carga máxima de la troncal Caracas (41 000 pphpd) y el límite de capacidad de 30 000 pphpd (umbral establecido a partir del cual el sistema TransMilenio, sobrepasa el confort ideal contemplado en su diseño para el usuario).

La siguiente figura presenta el resultado de simulaciones en el largo plazo (2050) con los movimientos en cada estación. En el segmento de la Avenida Caracas se pueden observar los mayores movimientos, especialmente en la estación Calle 72, lo cual corrobora la anterior cuantificación.

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

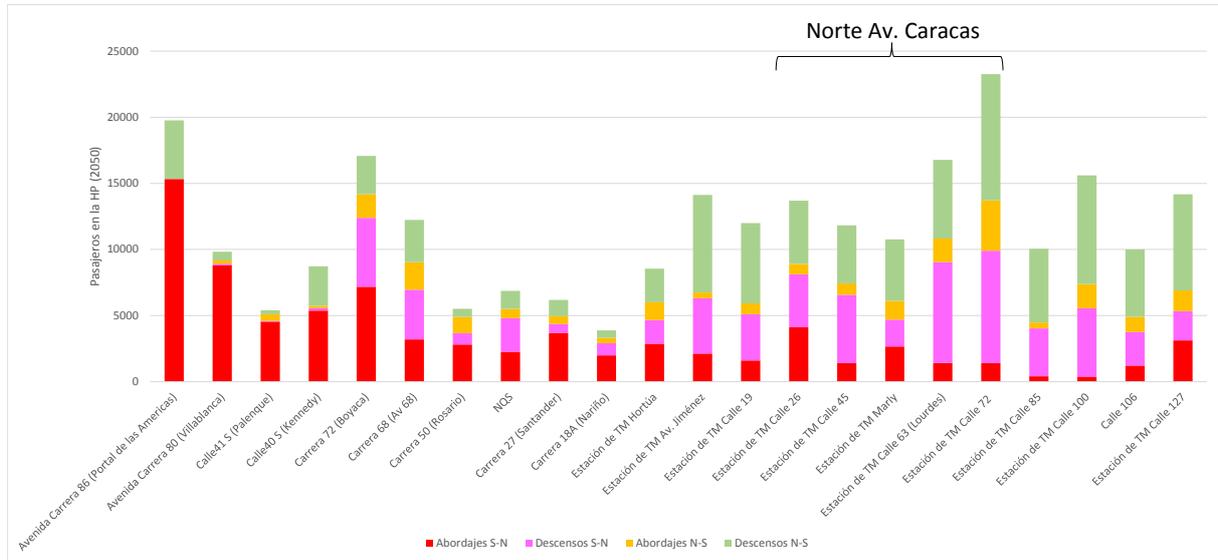


Figura 11: Diagrama de afluencia de pasajeros por estación Alternativa D.1, horizonte 2050 (Fuente: SDM)

La Canasta A Calle 26 es la que obtiene la mayor calificación en cuanto al desempeño del sistema de transporte público cuando se cuantifican los dos indicadores que miden este criterio. La oferta de transporte público contenida en esta canasta es la que proporciona un mayor ahorro de tiempo para los usuarios en la ciudad, al igual que genera un menor costo operacional por pasajero, cuando se le cuantifica a nivel de toda la ciudad.

Desempeño del sistema de transporte público	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
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
Costo operacional por pasajero del sistema, incluida la canasta (horizonte 2030, COP 2016)	1 391	1 419	1 550	1 613	1 747
Calificación	A	A	C	D	E

Tabla 8 - Valores de resultados y calificación del desempeño del sistema de transporte público para cada canasta – Fuente: SYSTRA y simulaciones SDM)

Los resultados en la cuantificación del impacto urbano son disímiles para cada sitio donde se inserta el nodo de terminación de cada canasta. Sin embargo, se puede apreciar que las canastas Calle 26 y Calle 72 son las que mejores condiciones ofrecen para generar nuevo espacio público, desarrollos inmobiliarios y recuperación de zonas deprimidas.

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

Impacto urbano del nodo de terminación de la PLMB en cada canasta	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
Potencial de generación de nuevo espacio público (m ²)	4 536	2 500	3 571	980	2 332
Calificación	A	C	B	E	D
Potencial de desarrollo de proyectos inmobiliarios (m ²)	45 358	24 997	35 712	9 800	23 316
Calificación	A	C	B	E	D
Potencial de recuperación de zonas deprimidas (m ²)	37 459	7 791	48 319	0	0
Calificación	B	E	A	E	E
Impacto visual (% de llenos)	20%	42%	37%	22%	20%
Calificación	A	E	D	A	A

Tabla 9 - Valores de resultados y calificación caracterización urbana nodo de terminación – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

En cuanto a la conectividad de la línea en el nodo de terminación, calculada en relación con otras estaciones de TransMilenio y con vías arterias, las canastas A y C obtienen los mejores resultados.

Conectividad de la línea en el nodo de terminación	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
Cercanía con troncales de TransMilenio (un)	5	4	4	2	2
Calificación	A	B	B	E	E
Cercanía con vías principales (km)	2,8	1,6	2,1	1,9	1,6
Calificación	A	E	C	D	E

Tabla 10 - Valores de resultados y calificación de la conectividad de la línea en el nodo de terminación – Fuente: SYSTRA-SIGMA GP

4.2 Selección de la canasta con mejor desempeño en transporte, inserción urbana, conectividad y sostenibilidad financiera

De manera similar al 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.

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.

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

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. Cuando sea prolongado el viaducto hasta la Calle 127 y posteriormente hasta la Calle 170, esta característica se profundizará.

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. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO, ESTIMACIÓN DE CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

Las características del proyecto se presentan en cuatro aspectos principales: el trazado que es la base del desarrollo del sistema, la infraestructura del viaducto y de las estaciones, los costos de inversión para cada componente del sistema y las estrategia para la implantación de los mismos.

5.1 Trazado del Tramo 1 a nivel de prefactibilidad

El Tramo 1 va desde la estación Portal Américas hasta la estación Calle 72, con una longitud de 19,5 km. La línea contempla además un el ramal técnico hasta el patio-taller de 5,0 km de longitud que a la fecha de edición de este informe aún no ha sido definida su localización⁷. El trazado es establecido según los siguientes principios generales, que se recomienda sean tenidos en cuenta en el diseño final.

- El trazado deberá garantizar una comodidad óptima para los pasajeros,
- El trazado deberá garantizar una explotación eficiente entre las estaciones,
- El trazado deberá optimizar la eficiencia de las estaciones intermodales,
- El trazado deberá ser optimizado para garantizar una importante velocidad comercial con una velocidad punta de 90 km/h,
- El trazado deberá preservar, en la medida de lo posible, las infraestructuras (carreteras, puentes, etc.), redes y edificios existentes,
- El trazado deberá minimizar, en la medida de lo posible, eventuales adquisiciones inmobiliarias,
- La inserción de la línea y de las estaciones deberá atender lo mejor posible los polos urbanos actuales y futuros.

Para la elaboración del trazado a nivel de prefactibilidad, se tomaron las siguientes características del material rodante y premisas de confort para los usuarios y el tren:

Características del Material Rodante							
Tipo	Automático						
Apoyo	Sin Balasto						
Cargas	Tren Pesado						
Tren Cargado	<i>CONDICIONES DE CARGA</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>CARGA COCHE M (kg)</i>	<i>CARGA COCHE R (kg)</i>	<i>CARGA TOTAL POR UT (kg)</i>	<i>CARGA POR EJE COCHE M (t)</i>	<i>CARGA POR EJE COCHE R (t)</i>
	EL E	Tara	41.146	37.470	239.525	10,29	9,37
	EL 6	Carga normal	64.479	60.803	379.525	16,12	15,20
	EL 8	Carga máxima	71.300	67.770	421.324	17,83	16,94
Vagones	6 vagones						
Gálibo estático (Horizontal)	3,20 m						
Longitud de trenes	141 -143 m						

⁷ En este estudio se supuso que el ramal técnico es el mismo propuesto por el Consorcio L1. No obstante, el Distrito Capital y la FDN vienen adelantando un estudio para identificar y seleccionar una mejor alternativa, incluyendo posibles ubicaciones en el municipio de Mosquera.

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

Características del Material Rodante	
Distancia max. entre bogies	15,80 m
Entre ejes des vías	3,91 m
Altura del piso del tren	1,1 m
Material de la rueda	Acero - calidad ER9
Tensión	Alimentación 1500V Continua
Alimentación eléctrica	3er riel
Velocidad máxima de explotación	90 km/h
Evacuación de pasajeros	Lateral

Tabla 12 - Premisas para el material rodante (Fuente: SYSTRA)

Parámetros para el trazado del viaducto	Valores	
	recomendados	Valores excepcionales
Ancho de vía	1435 mm	
Entre-eje	3,91 m	
Velocidad máxima	90 Km/h	
Peralte máximo	140 mm	160 mm
Insuficiencia máxima de peralte	100 mm	120 mm
Aceleración no compensada	0,65 m/s ²	
Variación máxima del peralte con el tiempo	50 mm/s	
Variación máxima de la insuficiencia con el tiempo	60 mm/s	
Variación máxima aceleración no compensada con el tiempo	0,40 m/s ³	
Variación máxima de peralte	3 mm/m	4 mm/m
Aceleración vertical máxima	0,20 m/s ²	0,40 m/s ²
Parámetros geométricos del trazado en planta		
Radio mínimo en plano	400 m	150 m
Radio mínimo en estación	Recta	
Longitud mínima elemento (recta, curva, clotoide)	30 m	20 m
Longitud mínima de andén en estación	150 m	
Longitud mínima de alineación restante en estación	180 m	150 m
Parámetros geométricos del trazado en alzado		
Pendiente longitudinal máxima en línea	2%	4%
Pendiente longitudinal mínima en línea	0,20%	0%
Pendiente longitudinal en estación	0%	0,20%
Acuerdo mínimo	3000 m	2000 m

Tabla 13 - Parámetros funcionales de diseño para el confort del usuario y el tren (Fuente: SYSTRA)

Para atender las exigencias de la explotación, se prevé un conjunto de comunicaciones cruzadas en las colas de maniobras en cada extremo de la línea para facilitar los retornos de los trenes y a lo largo de la línea, con el objetivo de prever servicios parciales o provisionales. Estas últimas se proponen junto a las estaciones Boyacá, NQS y Calle 26 (aproximadamente cada 5 km).

Igualmente, se han dejado las provisiones para permitir la prolongación de la línea en ambos extremos de ella (Portal Américas y Calle 72). En estos casos, se tendrá la posibilidad de conservar las comunicaciones cruzadas para el retorno y estacionamiento de trenes. De acuerdo al trazado finalmente propuesto, la línea se puede clasificar como sigue:

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

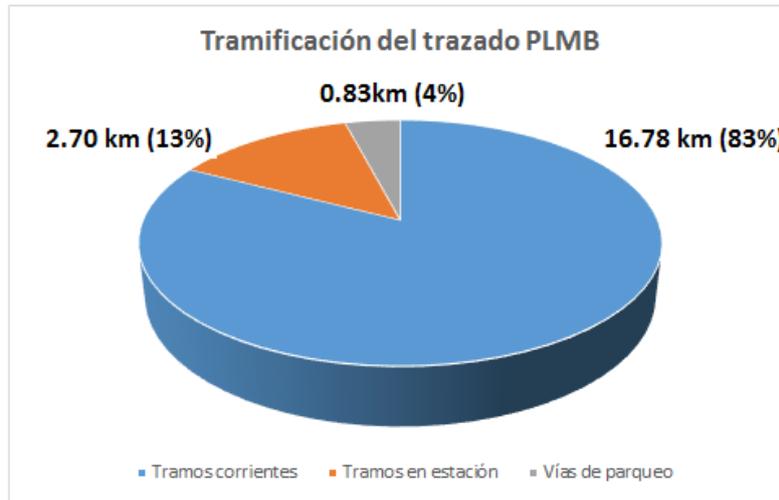


Figura 12: Tramificación del trazado de la PLMB. Tipos de vías (Fuente: SYSTRA)

La totalidad de los segmentos en estación, así como las vías de parqueo antes de la estación Portal Américas y tras la estación Calle 72, se encuentran en segmentos rectos.

Long. Total	20,307 km	Segmentos rectos	14,085 km	69,4%
		Segmentos en curva $R > 1000m$	1,850 km	9,1%
		Segmentos en curva $600 \leq R < 1000m$	0,923 km	4,5%
		Segmentos en curva $300 \leq R < 600m$	1,632 km	8,0%
		Segmentos en curva $R < 300 m$	1,817 km	9,0%

A continuación se presenta la descripción del trazado. Las plantas y perfil longitudinal del trazado se presentan en el Anexo (sección 6.2).

La línea empieza en la Calle 43 Sur, en frente del Portal Américas de TransMilenio con vía de pendiente nula que permite el retorno de un tren y eventualmente el estacionamiento de otro. La estación Portal Américas (PK 0+331 a la mitad de la longitud del andén⁸) está situada en frente del portal de TransMilenio para facilitar el intercambio de usuarios con esta última. Dos comunicaciones cruzadas están localizadas a ambos lados de la estación. El eje de la vía está posicionado a 1,75 m del borde de la vialidad, para no interferir con la vía de circulación. El trazado atraviesa después la Troncal Cali / Avenida Ciudad de Cali permaneciendo centrada en los separadores de la avenida hasta la estación Villablanca.

El trazado es relativamente sinuoso con el objetivo de insertar el viaducto y las pilas sin impactar la avenida lo que induce a una reducción de la velocidad máxima. La estación Villablanca (PK 1+439) está situada justo antes del cruce con la Calle 80 con pendiente nula. El trazado sigue hacia el sur sobre el separador central de la Calle 43 Sur atravesando las carreras 80, 78, etc., hasta el PK 2+100, donde gira hacia el Este para alcanzar la estación Palenque sobre la Transversal 78 / Avenida 1° de Mayo, situada en el PK 2+523 enfrente del dispensario. Se ha considerado un radio de 200 m, superior al mínimo admisible de 150 metros. Se atraviesa el terreno de la gasolinera para permanecer a más de 10 m de

⁸ En la definición detallada del trazado ferroviario fue necesario identificar los PK: se parte del PK 0,00, 256,4 m antes de la estación Portal Américas (capacidad de estacionamiento de un tren) y se finaliza en el PK 20,301 para incluir 572,4 m de cola de maniobras después de la estación Calle 72 (capacidad de estacionamiento de tres trenes)

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 esquina de los edificios al noreste. Este radio implica una reducción de la velocidad pero sin impacto, debido a que la curva está situada antes de la estación. El trazado sigue hacia el este sobre el separador central de la Avenida 1° de Mayo, pasa delante del hospital Kennedy hasta la estación Kennedy situada en PK 3+472 al este del hospital y de la Calle 40 Sur. El trazado continúa hacia el este sobre el separador central de la Avenida 1° de Mayo y antes de llegar a la estación Av. Boyacá (PK 4+731) es necesario impactar una manzana de edificaciones para insertar correctamente el viaducto. Una comunicación cruzada está situada detrás de la estación.

El trazado vuelve sobre el separador central de la Avenida 1° de Mayo / Calle 26 Sur, girando hacia el Sureste para seguir la avenida. Después de cruzar la Carrera 69B, el trazado gira ligeramente hacia el este y realiza una curva en "S" para entrar en la estación Avenida 68 en PK 6+397. La estación Avenida 68 está situada entre dos futuros puentes en mitad de la glorieta. El alineamiento recto de 180 m necesario para la estación, ha impuesto la inserción de curvas en S de cada lado de esta última para no impactar las avenidas o los edificios contiguos.

El trazado continúa hacia el sureste sobre el separador central de la Avenida 1° de Mayo, gira ligeramente hacia el este cerca de la Cra. 48, continúa a través del Canal Rio Seco para llegar a la intersección con la Carrera 50 donde está situada la estación Rosario en el centro de la glorieta en PK 7+542. El trazado continúa hacia el sureste sobre el separador central de la Avenida 1° de Mayo a través del Canal Albina, luego gira hacia el Este para unirse a la avenida y estación NQS situada en el centro de la avenida sobre la estación existente del Transmilenio en PK 8+947. Un radio de 250 m es necesario para mantener el trazado sobre las isletas y no impactar los edificios al noreste. Una futura línea y estación BRT está prevista en la Carrera 30 al sur. Una comunicación cruzada está situada detrás de la estación.

El trazado sigue hacia el noreste sobre el separador central de la Avenida NQS, luego gira hacia el sureste con un radio de 300 m. El trazado tiene en cuenta tanto las infraestructuras existentes como el futuro proyecto de glorieta. El trazado sigue el separador central de la Calle 8 Sur / Avenida Fucha en dirección del sureste y gira hacia el este sobre el separador central de la Calle 1 donde se encuentra la estación Santander en PK 10+650. Un radio de 250 m es necesario para integrarse a las infraestructuras existentes.

Es preciso resaltar que a partir de la estación Santander y mayormente en el tramo de la Avenida Caracas se realizó un proceso de optimización de la posición de las estaciones y del número final de ellas. Se tuvieron consideraciones de demanda de transporte (mediante la simulación iterativa del grado de atracción de cada estación realizada por la SDM) pero también tomando en consideración aspectos urbanos y de revitalización urbana que la Secretaría de Planeación identificó.

El trazado continúa sobre la Calle 1 y gira con un radio de 300 m para continuar hacia el sureste, atraviesa las carreras 22 y 21 y llegar a la Avenida Caracas en donde gira hacia el norte con un radio de 210 m para no impactar los grandes edificios residenciales en la esquina noreste ni los edificios situados al sureste de esta avenida. Después de esta curva se sitúa la estación Hospitales en PK 11+800 (estación desplazada según consideraciones del CSC y la SDM). La estación Hospitales está situada al noreste del cruce de la Avenida Caracas con Calle 1. Hasta este punto, el trazado es el mismo desarrollado en la ingeniería básica del Consorcio CL1. A partir de este punto, el trazado sigue el eje central de la Avenida Caracas / Calle 14 hasta la estación terminal (Calle 72). Comparte este eje con la troncal Caracas de TransMilenio otorgándole una características especiales por la interacción con este modo de transporte. El trazado sigue la Avenida Caracas en la dirección del Noreste y llega a la estación Calle 10-11 en el PK 12+910 al nivel del Voto Nacional.

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 trazado continúa hacia el Noreste, atraviesa la Calle 13 (futuro proyecto de rotonda) y llega a la estación Calle 26 en PK 14+522. En perfil, la línea sigue el terreno natural y baja desde la estación Calle 10-11 hasta la estación Calle 26. Una comunicación cruzada está situada antes de la estación. Luego continúa hacia el noreste, atraviesa la Calle 26, gira ligeramente hacia el Norte después de la Calle 32 para seguir la avenida y llegar a la estación Calle 45 en PK 16+617. El perfil sigue el terreno natural cuesta abajo y hacia el norte para remontar al final hacia la estación Calle 45. El trazado atraviesa la Calle 45, continúa hacia el noreste hasta la estación Calle 63 en PK 18+545.

El trazado continúa en dirección del noreste, gira a la derecha entre las calles 66 y 70 para llegar a la estación Calle 72 en PK 19+659. Dos comunicaciones cruzadas están situadas a cada lado de la estación. La línea continúa más allá de la estación y de la Calle 72 hasta la Calle 76 previendo un retorno, la posibilidad de estacionar cinco trenes detrás de la estación y para anticipar la prolongación de la línea hasta la Calle 127. El perfil baja desde la estación Calle 63, continúa con una pendiente de 0,2% en la estación y detrás de ella para minimizar la altura de las pilas siguiendo el perfil del terreno natural.

5.2 Optimización del número y posición de estaciones en la canasta seleccionada

Una vez definido el nodo de terminación de la línea de metro, la SDM estimó los efectos del ajuste de estaciones de la PLMB. Para esto, se consideraron como indicadores de evaluación la carga máxima de la PLMB, los abordajes de la PLMB, la distancia entre estaciones y distancia máxima entre estaciones y la demanda de las estaciones (movimientos totales). Adicionalmente se consideraron los procesos de renovación urbana a adelantarse en el sector de los hospitales y el Voto Nacional. Para el Tramo 1 de la PLMB, se partió de un conjunto de 18 estaciones que se fueron reduciendo iterativamente a 15 estaciones. La siguiente tabla presenta el conjunto de estaciones estudiadas.

Estaciones	Situación original		Situación optimizada	
	PK medio andén (m)	Interdistancia (m)	PK medio andén (m)	Interdistancia (m)
Portal Américas	0	1 108	0	1 108
Villablanca	1 108	1 084	1 108	1 084
Palenque	2 192	949	2 192	949
Kennedy	3 141	1 259	3 141	1 259
Boyacá	4 400	1 666	4 400	1 666
Av 68	6 066	1 145	6 066	1 145
Rosario	7 211	1 405	7 211	1 405
NQS	8 616	1 260	8 616	1 703
Santander (original)	9 876	1 094		
Santander (modif.)			10 319	1 150
Nariño	10 970	867		
Hospitales			11 469	1 125
Calle 3-4	11 837	757		
Calle 10-11	12 594	811	12 594	1 596
Calle 19	13 405	785		
Calle 26	14 190	2 096	14 190	2 096
Calle 45	16 286	651	16 286	1 928
Calle 53	16 937	1 277		
Calle 63	18 214	1 115	18 214	1 115
Calle 72	19 329		19 329	
Total y Promedio	18 estaciones	1 074 m	15 estaciones	1 381 m

Tabla 14 - Ajuste de estaciones del Tramo 1 de la PLMB (Fuente: SYSTRA, CSC)

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 el escenario con todas las estaciones se tenía un volumen de embarques a la PLMB de 67 330 en la hora pico. Al suprimir las tres estaciones, este volumen disminuye en un 1,47% a 66 340 embarques. Este impacto en los embarques se considera muy bajo y por tanto susceptible de ser implantado. Este bajo impacto se explica por el hecho de que se mantiene la atractividad de la línea mediante una mejor localización de las estaciones y por el aumento de la velocidad comercial a 40,1 km/hora.

La mayor interdistancia entre estaciones de metro se complementa con una menor interdistancia entre estaciones de la troncal Caracas (± 400 m). Esta configuración permitirá a los usuarios de la PLMB finalizar o iniciar sus viajes de una manera adecuada. De esta manera, se está reforzando la vocación de servicio del modo metro para viajes más largos y la del sistema TransMilenio para viajes más cortos. Por lo tanto, la tipología analizada para las estaciones sobre el corredor de la Av. Caracas prevé la fácil interconexión modal para los usuarios.

5.3 Tipología de la infraestructura de estaciones

Una de las características propias a la alternativa seleccionada es la obligación de implantar una interfaz directa entre estaciones de metro y de TransMilenio a lo largo de la Avenida Caracas y en la estación NQS. Una estación se superpone a la otra para permitir una integración física y funcional, lo cual redundará en menores tiempos de trasbordo y mayor volumen de usuarios con accesibilidad a ambos modos.

El estudio de tipologías de estaciones que desarrolló SYSTRA permitió confirmar la factibilidad de esta configuración, desde el punto de vista funcional y estructural, ya que la operación de los vehículos articulados de TransMilenio no deberá tener conflictos con la estructura de la estación metro ni con la de TransMilenio. Para lograr este objetivo, el perfil de la Avenida Caracas deberá ser adecuado junto con la infraestructura de TransMilenio que, en todo caso será de menor capacidad de transporte individual: el separador central de la avenida deberá ser ensanchado a 9 m, los carriles exclusivos del sistema desplazados y probablemente esto obligue a suprimir un carril para el tránsito general, especialmente si se quiere asignar espacio a la bicicleta para llegar a las estaciones o para circular.

No obstante las ventajas de la solución integrada, la construcción del viaducto y de las estaciones de intercambio en una troncal BRT en operación representan un reto de planeación de movilidad importante que debe ser tenido en cuenta en la selección de la tecnología y en la planeación del desarrollo, tal como se analiza en otro capítulo de la consultoría.

Como premisa de concepción funcional y volumétrica de las estaciones elevadas, el CSC solicitó el estudio de una descentralización de las áreas técnicas y algunas operacionales fuera del cuerpo principal de la estación, para llevarlas a edificios contiguos y de esta manera obtener estaciones lo más ligeras posible y estructuras menos robustas para mitigar el impacto visual de esta estructura. Esta configuración funcional y volumétrica permite además desarrollar el potencial inmobiliario alrededor de los accesos a las estaciones, donde sea posible⁹.

Los accesos a las plataformas de embarque de las estaciones son laterales mediante pasarelas que parten de los edificios contiguos, llegando a un nivel de mezzanine dentro de la estación, permitiendo de esta manera el desarrollo de proyectos inmobiliarios en los predios intervenidos con los accesos a la estación.

⁹ Como se ha descrito en el trazado, existen estaciones en medio de una glorieta en donde no será factible el desarrollo inmobiliario en cada acceso lateral de la estación ya que se ubicarían muy alejados del entorno construido

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

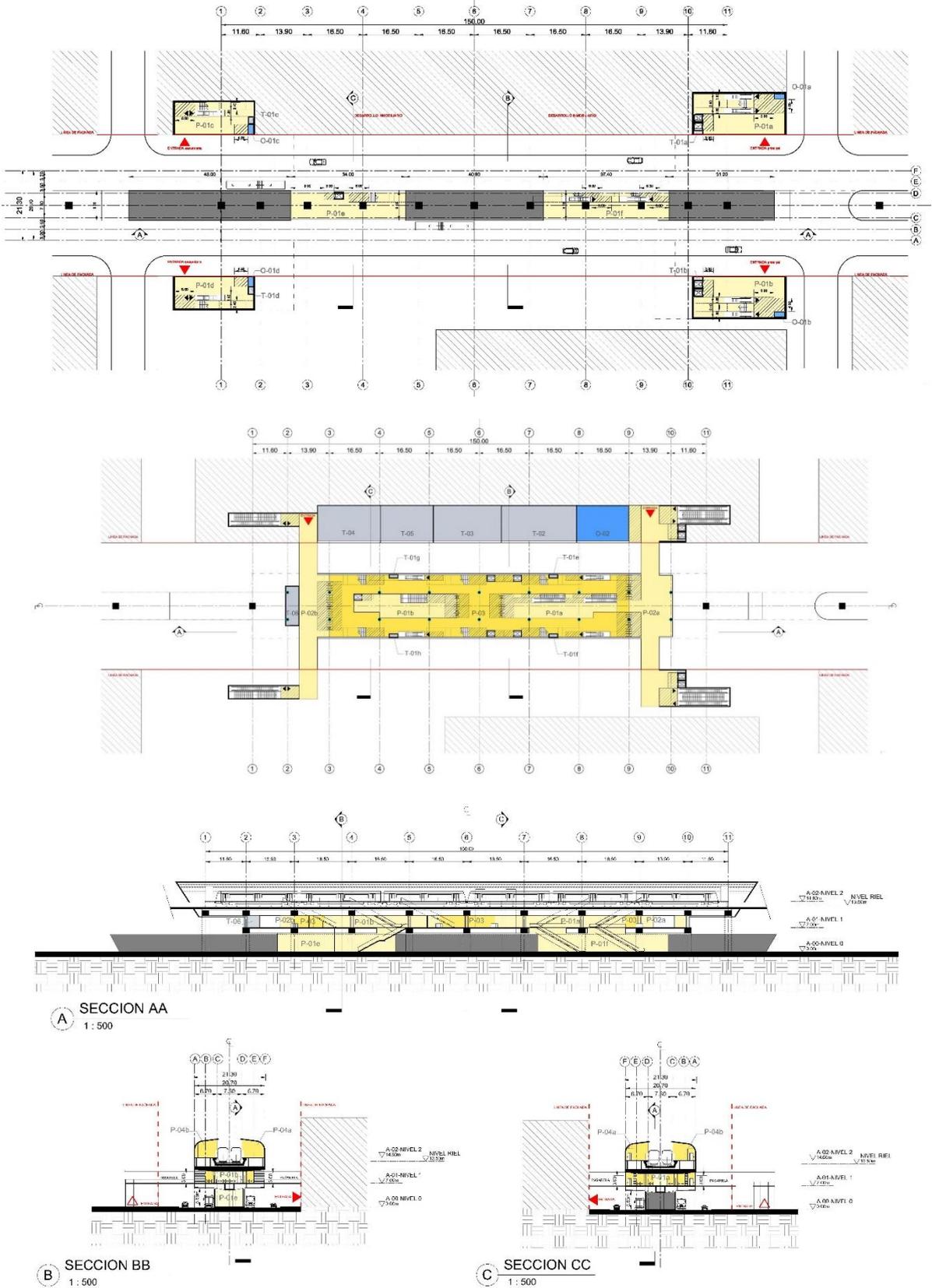


Figura 13: Tipología de estación de transferencia superpuesta sobre estación de TransMilenio (Fuente: SYSTRA)

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

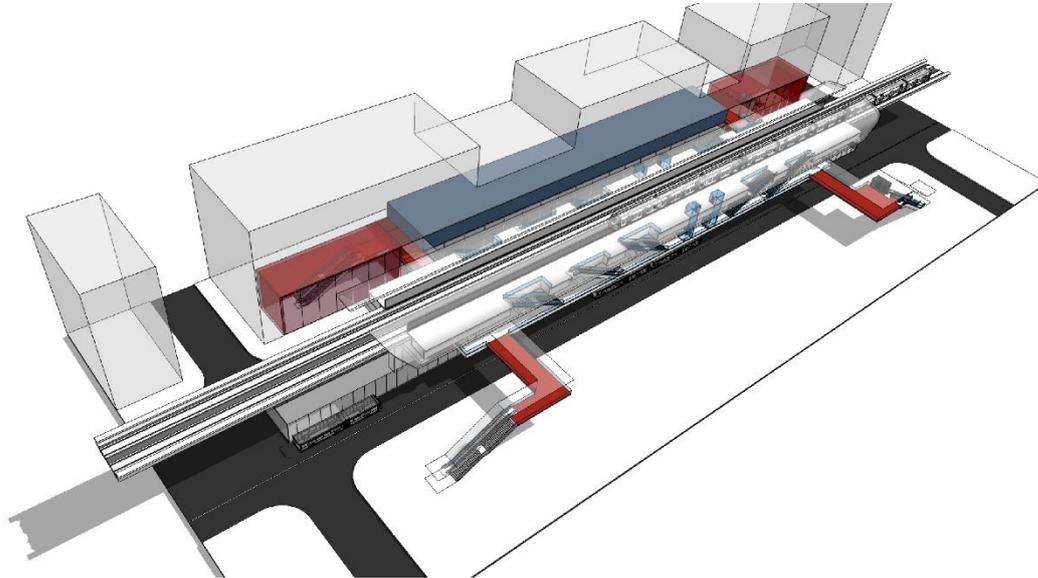


Figura 14: Perspectiva de la estación de transferencia con TransMilenio (Fuente: SYSTRA)

Por otro lado, se estudió otra tipología de estación, esta vez para las situaciones en que las estaciones localizadas en contextos urbanos donde existe un potencial de desarrollo inmobiliario y de generación de nuevo espacio público en sus alrededores.

Como en la tipología de estación en correspondencia con las estaciones de TransMilenio en la Avenida Caracas, los accesos a la estación son laterales mediante pasarelas que parten de los edificios contiguos llegando a un nivel de mezzanine dentro de la estación, permitiendo el desarrollo de proyectos inmobiliarios en los predios intervenidos con los accesos a la estación.

Esta otra tipología se plantea también para la situación en donde no existe una estación de TransMilenio cercana a ella.

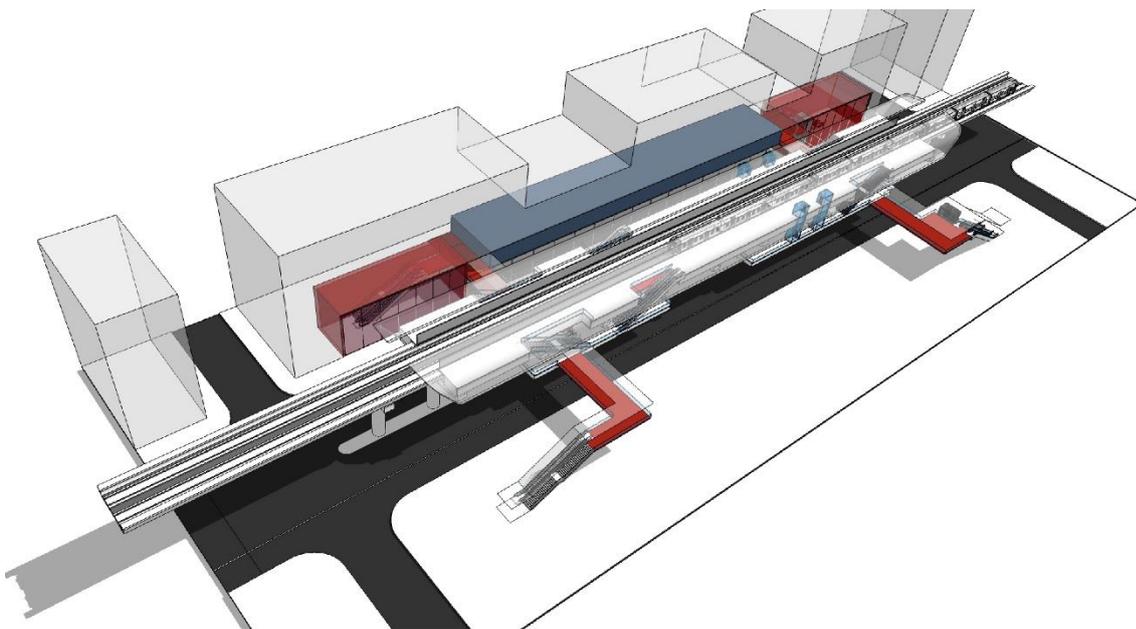


Figura 15: Perspectiva de la estación simple (Fuente: SYSTRA)

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

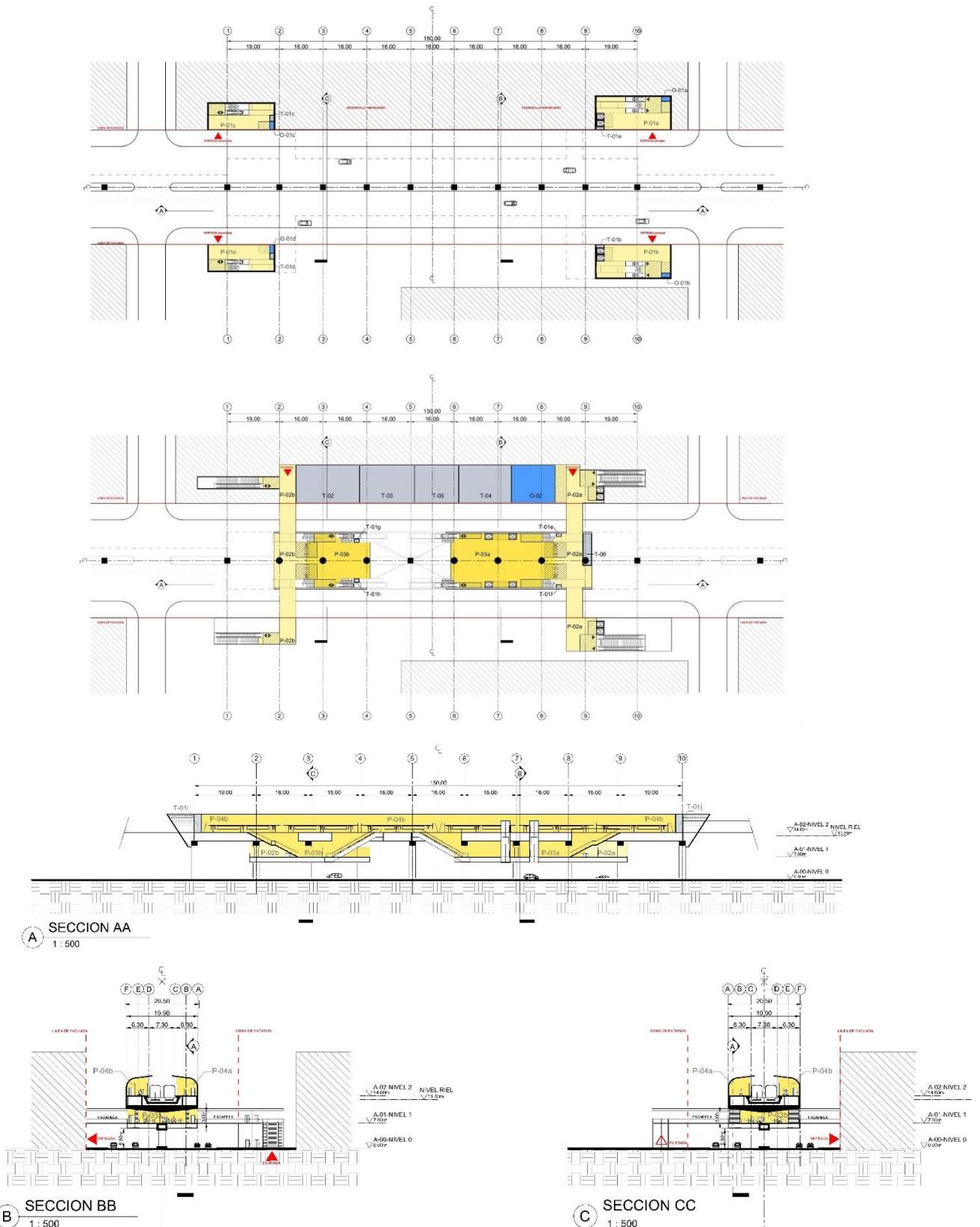


Figura 16: Tipología de estación simple (Fuente: SYSTRA)

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

5.3.1 El programa de las estaciones

Las estaciones están compuestas de tres tipos de zonas: las áreas públicas, los locales operacionales y los locales técnicos. El programa de cada una de estos espacios puede variar de un sistema a otro. Se elaboró una lista de los espacios comúnmente encontrados en una estación de metro y se definió el programa a utilizar para las estaciones de la PLMB. El programa definido para la PLMB está fundamentado en tres ejes importantes:

- Reducción de las áreas públicas a lo necesario, para tener estaciones compactas y ligeras
- Integración de locales operacionales que proporcionen amplias posibilidades, debido a que el plan operacional de la línea aún no ha sido definido específicamente.
- Locales técnicos necesarios para el funcionamiento de la línea y de la estación, tomando como hipótesis que las estaciones no están climatizadas.

5.3.1.1 Las áreas públicas

Las áreas públicas de la estación son aquellas que son accesibles a los usuarios en general. Están constituidas por los andenes, las áreas paga, las áreas no pagas. Las distintas zonas se encuentran unidas por las zonas de circulación. Los andenes son laterales, principalmente para tener una separación de flujos y para simplificar la configuración del trazado. Los andenes podrían estar separados de las vías por puertas automáticas si se decidiera esta estrategia de explotación. Tienen una longitud de 150 m para poder albergar el tipo de material rodante seleccionado. El ancho de los andenes es definido para tener un cierto nivel de confort durante su uso cotidiano, en base a la demanda.

Las áreas paga y no pagas deben de encontrarse separadas por una o varias líneas de control. Estas líneas de control estarán compuestas por mobiliario de control de boletos tales como torniquetes. La cantidad de puertas a utilizar es calculada según el equipo de control que sea seleccionado y según la estrategia de control deseada (control únicamente a la entrada o a la entrada y salida). Las circulaciones están dimensionadas en base a la demanda de largo plazo, para proporcionar un nivel de confort deseado en su uso cotidiano, así como para la evacuación de pasajeros en caso de emergencia.

5.3.1.2 Los locales operacionales o de explotación

Generalmente, estos son los locales que son accesibles solo por los trabajadores de las estaciones o que tiene como finalidad dar servicio a los pasajeros. Algunos de estos locales pueden ser accesibles a los pasajeros en situaciones excepcionales, como la sala de primeros auxilios.

El programa seleccionado para las áreas operacionales es bastante maximalista, para contar con suficiente espacio para tener opciones. Este programa podrá ser optimizado en el futuro cuando el plan operacional (estrategia tarifaria, servicios a los pasajeros, tipo de control de boletos, seguridad, etc.) de la línea haya sido definido.

5.3.1.3 Locales técnicos

Las zonas técnicas son los espacios en los que se coloca el equipamiento necesario para alimentar los servicios de las estaciones y para el funcionamiento de algunos recursos de la línea de metro. Los locales técnicos se pueden dividir en dos categorías principales: los locales de sistemas ferroviarios y los locales de sistemas del edificio.

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

Los locales de sistemas ferroviarios incluyen todos los locales necesarios para el funcionamiento de la línea de metro que deben de ser albergados en las estaciones. Algunos de estos locales serán necesarios únicamente en estaciones seleccionadas, sin embargo como lo que se han desarrollado son estaciones tipo, en la concepción se ha considerado que el conjunto de estos locales se encuentra presente.

Los locales de sistemas del edificio incluyen los locales eléctricos, la fontanería y la climatización. Estos locales están estrechamente ligados al diseño de las estaciones, así que pueden variar de una tipología a otra. Asimismo, algunos de estos locales como los relativos a la climatización pueden variar según los locales técnicos del sistema ferroviarios que sean necesarios. Sin embargo en ésta fase conceptual, una superficie común se ha considerado para todas las estaciones.

Se debe tener en cuenta que los locales que pueden variar de manera radical en tamaño son los relativos a la climatización de la estación y del edificio de acceso, según el sistema de climatización y ventilación que se seleccione para las áreas de alta acumulación de personas. Dado el clima de la ciudad y la posibilidad de generar espacios abiertos, para el diseño conceptual se ha considerado que las áreas públicas no serán climatizadas, lo cual reduce la necesidad de una superficie de locales técnicos. Si esto llegara a cambiar las superficies necesarias podrían aumentar de manera significativa. Los locales que deberán ser integrados en las estaciones son los siguientes:

- **Sistemas Ferroviarios:**
 - Suministro de Potencia de Tracción
 - Puesto de tracción/seccionamiento
 - Local de sistema de Conducción Automática
 - Local de equipos de telecomunicación de la estación / corriente débil
 - Local equipamiento de boletería
 - Red de telecomunicación para operador exterior (este local no es necesario para la operación de la línea en sí, pero es una reserva para proporcionar servicios de paso de cables en la línea a operadores exteriores)
 - Almacén para el mantenimiento
 - Gas para extinguir incendios en locales técnicos

- **Sistemas del Edificio:**
 - Local eléctrico de medio voltaje
 - Puesto de alumbrado y fuerza
 - Almacén para equipo eléctrico
 - Local de equipo electromecánico
 - Ventilación
 - Planta de refrigeración
 - Suministro de agua
 - Tanque del sistema de extinción de incendios
 - Local de bombas para los rociadores del sistema de extinción de incendios

Asimismo, cabe señalar que una de las variables que fue desarrollada para este proyecto, consiste en la externalización de los cuartos técnicos fuera del cuerpo elevado de la estación. Esta opción implica mayores distancias de conexión entre la estación elevada y el edificio de acceso, donde estarán los equipamientos técnicos.

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

Por último, cabe anotar que las estaciones no tendrán que estar dotadas de escaleras mecánicas pero sí de ascensores para proporcionar accesibilidad a las personas con movilidad reducida (mujeres embarazadas, personas con coches de bebés, personas de la tercera edad, etc.).

5.4 Cronograma de construcción de la PLMB a nivel de prefactibilidad

El proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá, desde el patio-taller hasta la Calle 127, se ejecutará en dos tramos atendiendo de esta manera la limitación presupuestal vigente que implica la construcción del Tramo 1 en el corto plazo:

- Tramo 1: Patio-taller hasta la estación Calle 72, más cola de maniobras hasta la Calle 76
- Tramo 2: Calle 76 con Avenida Caracas hasta la Calle 127 con Autopista Norte.

Considerando las complejidades urbanas y de movilidad del Tramo 1, la previsión del cronograma de construcción del proyecto en este tramo toma en cuenta, en una primera instancia, un escenario constructivo con dos fases:

1. Desde el patio-taller (a \pm 5 km de la estación Portal Américas) hasta la Avenida Caracas con Calle 26 a la altura de la estación Calle 26
2. Desde Avenida Caracas con Calle 26 hasta la estación Calle 72 más la cola de maniobras de 0,6 km que llega hasta la Calle 76

Como se ha mencionado en una sección anterior, la construcción del viaducto y de las estaciones de intercambio en una troncal BRT en operación sobre la Avenida Caracas representa un reto de planeación de movilidad importante. Se ha previsto la posibilidad de distribuir parcialmente los viajes de los usuarios de la troncal Caracas hacia la nueva troncal Carrera Séptima (sobre todo para el tramo Calle 26 hacia el norte) y/o generar una adecuación provisional de la Carrera 13 para que se utilice como troncal de buses articulados y biarticulados.

Ambas estrategias deberán ser confirmadas en la fase de estructuración técnica, legal y financiera del proyecto.

En el escenario constructivo analizado, la ingeniería de detalle, obras civiles, instalación, pruebas y ensayos de los sistemas ferroviarios tendrán una duración aproximada de 4,5 años, contados a partir de la suscripción del contrato para el desarrollo del proyecto.

A continuación se presenta el cronograma específico para la construcción de la PLMB en dos fases y posteriormente otro cronograma más general, que incluye la construcción de la PLMB y de las nuevas troncales.

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 el cronograma de la PLMB es posible entonces vislumbrar la interfaz con la construcción de las nuevas troncales de TransMilenio. La previsión de construcción del viaducto en dos fases puede aliviar el impacto sobre la movilidad. La primera fase, entre el patio-taller y Avenida Caracas-Calle 26, puede adelantarse mientras se construye la troncal de TransMilenio Carrera Séptima hasta la Calle 72 (Calle 76 con cola de maniobra de retorno) pues afectan cuencas de movilidad separadas. Cuando entre en operación la troncal de la Carrera Séptima y pase a conformar una sola troncal continua con la de la Carrera Décima, tendrá capacidad para absorber parte de la demanda que hoy transita a lo largo de la troncal Caracas, y será el momento oportuno para comenzar la Fase 2 del metro, es decir la construcción del viaducto y la reconfiguración de la Avenida Caracas entre la Calle 26 y la Calle 76.

Por su parte, la construcción de las troncales alimentadoras sobre las avenidas Ciudad de Cali, Boyacá y 68, también debe articularse con las obras del metro, de modo que sus terminaciones antecedan o coincidan con la terminación de la Fase 1. En cualquier caso, en la siguiente etapa del diseño deben explorarse opciones de intervención de la avenida Caracas, anteriores a la terminación de la troncal de la carrera Séptima, acudiendo a planes y desvíos parciales del tráfico. Esto eventualmente permitiría abreviar la ruta crítica y la duración total indicada en el siguiente cronograma.

Item	Año	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
		Semestre 1	Semestre 2												
1. LINEA DE METRO															
1.1 Analisis de alternativas y selección del trazado															
1.2 Ingeniería básica															
1.2.1 Licitación															
1.2.2 Desarrollo de la consultoría															
1.3 Construcción															
1.3.1 Adquisición predial															
1.3.2 Traslado anticipado de redes															
1.3.3 Licitación															
1.3.4 Diseño para construcción															
1.3.5 Ejecución de las obras civiles fase 1 (1)															
1.3.6 Ejecución de las obras civiles fase 2 (2)															
1.3.7 Instalación sistema ferroviario															
1.3.8 Recepción y ensayos															
2. TRONCALES															
2.1 Carrera 7 hasta Calle 170															
2.1.1 Licitación y diseños															
2.1.2 Licitación y construcción tramo CII 26-72															
2.1.3 Licitación y construcción tramo CII 72-170															
2.2 Caracas de Calle 1 a Yomasa															
2.2.1 Licitación y diseños															
2.2.2 Licitación y construcción															
2.3 Avenida 68															
2.3.1 Licitación y diseños															
2.3.2 Licitación y construcción															
2.4 Avenida Boyacá															
2.4.1 Licitación y diseños															
2.4.2 Licitación y construcción															
2.5 Avenida Ciudad de Cali															
2.5.1 Licitación y diseños															
2.5.2 Licitación y construcción															

- (1) Comprende la construcción del viaducto y reconfiguración de las vías del corredor PLMB entre patio-taller y Calle 26
- (2) Comprende la construcción del viaducto y reconfiguración de las vías del corredor PLMB entre Calle 26 y Calle 76

Figura 18: Cronograma de construcción del Tramo 1 de la PLMB y de la canasta de troncales de Transmilenio (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

5.5 Estimación del presupuesto para el Tramo 1 a nivel de prefactibilidad

La estimación del presupuesto para el Tramo 1 de la PLMB y la canasta de troncales alimentadoras para la alternativa seleccionada, opción Canasta C Calle 72, se realizó con base en las características de esta canasta analizadas en la actividad precedente de esta consultoría y en la optimización de varios de sus componentes: reducción del número de estaciones, aumento de la capacidad futura del patio-taller para atender un pphpd de 60 000 y una pequeña reducción en el costo del material rodante según la experiencia de SYSTRA en proyectos similares.

5.5.1 Características del Tramo 1 de la PLMB y la canasta de la PLMB troncales alimentadoras

Las oferta de transporte prevista para acompañar la implantación del Tramo 1 de la línea de metro fue simulada con el modelo de transporte de la SDM. Mediante un proceso iterativo se fueron componiendo las combinaciones de troncales de TransMilenio que coadyuvarán 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 cumpliendo con el presupuesto asignado de 12,82 billones COP. En la siguiente tabla se presentan las troncales alimentadoras de TransMilenio con mayor demanda sobre corredores que se encuentran incluidas dentro de dicha inversión para la Canasta Calle 72 seleccionada como el Tramo 1 de construcción de la línea. Este conjunto de troncales está constituido con el objetivo principal de alimentar a la PLMB.¹⁰

Troncal	Longitud (km)
Avenida 68 (Autopista Sur a Carrera 7)	16,93
Avenida Boyacá (Autopista Sur a Calle 26)	9,27
Avenida Ciudad de Cali (Bosa a Portal de Las Américas)	7,29
Total troncales alimentadoras	33,49

Tabla 15 - Longitud troncales alimentadoras (Fuente: SYSTRA)

Las características de la línea del metro resultantes del proceso iterativo de simulaciones, se presentan a continuación:

Características Tramo 1 PLMB	Cantidad
Longitud de la línea entre estaciones terminales	19,5 km
Longitud cola de maniobras	0,6 km
Longitud ramal técnico	5,0 km
Número de estaciones	15 Un
Material rodante	23 trenes
Capacidad patio	54 trenes

Tabla 16 - Características de la PLMB (Fuente: SYSTRA)

En la siguiente figura, se dan a conocer las troncales y la línea del metro descritas en las tablas anteriormente presentadas.

¹⁰ Ver tablas 26, 27 y 28 del Anexo

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

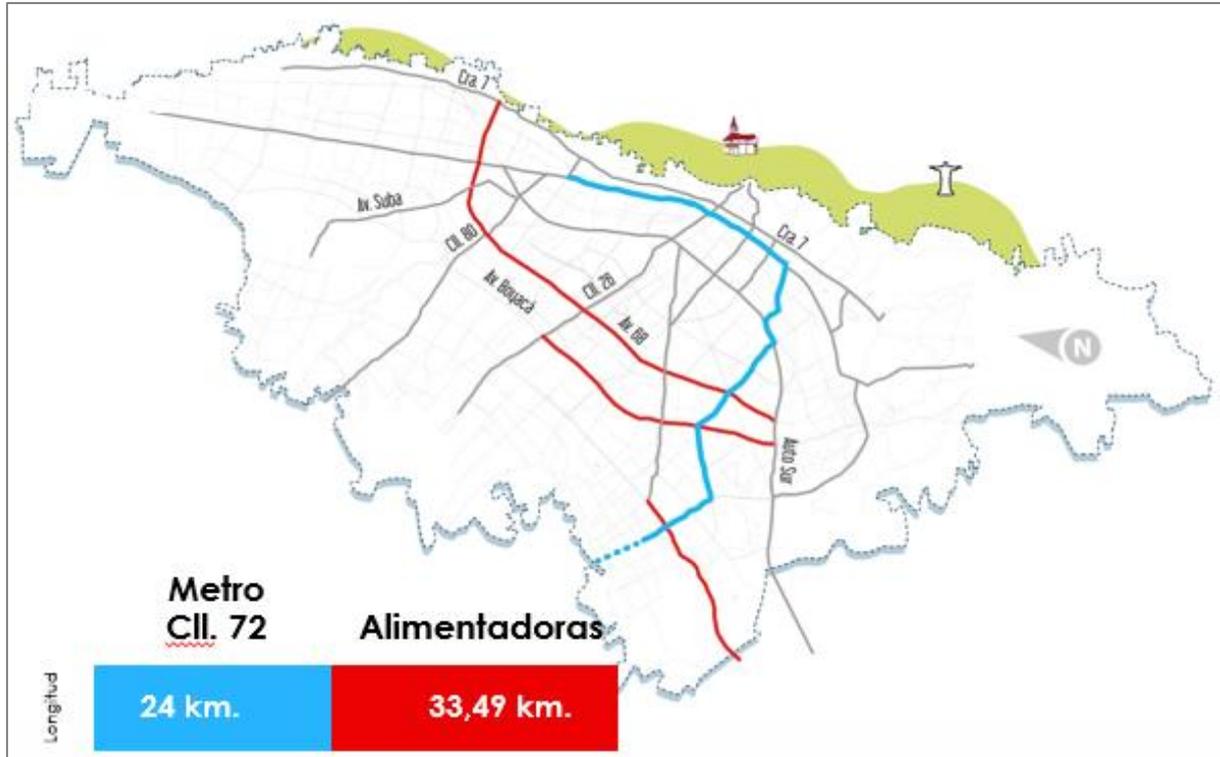


Figura 19: Proyectos de inversión para la canasta con nodo de terminación en Calle 72 (Fuente: SDM)

5.5.2 Costos de inversión para el Tramo 1 de la PLMB y canasta de la PLMB más troncales alimentadoras

De acuerdo con el presupuesto disponible y estimado en 12,82 billones COP, se realizó el cálculo de los costos de inversión, en donde se consideraron los siguientes ítems:

1. Costos para la inversión de la primera línea del metro de Bogotá.
2. Costos para la reconfiguración de la Troncal de la Caracas y Avenida Villavicencio.
3. Costos para la construcción de las troncales alimentadoras a la PLMB.

5.5.2.1 Costos para la inversión de la Primera Línea del Metro de Bogotá

En la siguiente tabla, se presentan los costos de inversión divididos en tres grandes rubros: el primero, costos de construcción y suministro, y el segundo, denominado “otros costos”, los cuales son rubros que se requieren como parte de las gestiones necesarias para la ejecución de los costos de construcción y, el tercero, la reconfiguración de las troncales de TransMilenio sobre el corredor de la PLMB.

Como complemento inseparable de las actividades propias de construcción del viaducto, se deberá adelantar la reconfiguración de la troncal Caracas desde la Calle 1 hasta la Calle 76, necesaria por 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, así como, 2,5 km para la Avenida Villavicencio por la implementación del ramal técnico que lleva al patio de maniobras, para un total de \$576.780 millones que incluye intervención en los carriles exclusivos, las estructuras, redes de servicios públicos y el costo de los diseños. Es necesario precisar que, en los costos señalados, no se hacen explícitos los asociados

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 carriles mixtos ni espacio público, teniendo en cuenta que se encuentran incluidos en los costos de la PLMB como parte del ítem: urbanismo y paisajismo.

ITEM	VALOR MM COP
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO	
Obra civil línea	1 508 665
Sistema ferroviario	858 981
Material rodante (25 trenes)	984 375
Estaciones y edificios de acceso (n=15)	756 000
Adicional estaciones complejas de integración (n=10)	167 040
Talleres y cocheras (cap. 54 trenes)	442 260
Urbanismo y paisajismo	245 423
Obras civiles adicionales (Redes y estructuras varias)	214 745
Ramal técnico (incluye obra civil y sistema ferroviario)	732 375
Nodo de terminación (incluye obra civil y sistema ferroviario)	87 886
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS CONSTRUCCION Y SUMINISTRO	5 997 750
AIU (25%)	1 499 438
SUBTOTAL CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO	7 497 188
OTROS COSTOS	
Manejo ambiental y social	187 430
Desvíos y manejo de tráfico	299 888
Predios y legalización	458 221
Estudios, diseños y asistencias técnicas	299 888
Interventoría fase de obra	374 859
SUBTOTAL OTROS COSTOS (incluyen AIU)	1 620 286
COSTOS RECONFIGURACION TRONCALES SOBRE CORREDOR PLMB	
Reconfiguración troncal Av. Caracas	541 976
Reconfiguración troncal Av. Villavicencio	75 000
AL RECONFIGURACION DE TRONCALES SOBRE CORREDOR PLMB (incluyen AIU)	616 976
TOTAL PRIMERA LINEA METRO DE BOGOTA (PLMB)	9 734 450

Tabla 17 - Costos de inversión de la PLMB (Fuente: SYSTRA)

5.5.2.2 Costos para la construcción de las troncales alimentadoras

La tabla que se presenta a continuación, incluye los costos para la construcción de cada una de las troncales incluidas en los costos de inversión.

Rubro	Valor MM COP
Avenida 68 (desde AutoSur hasta Carrera. 7ª)	1 603 358
Avenida Boyacá (desde AutoSur hasta Calle 26)	785 706
Avenida Ciudad de Cali (desde Av. Bosa hasta Portal Américas)	836 585
TOTAL TRONCALES ALIMENTADORAS	3 225 649

Tabla 18 - Costos de inversión troncales alimentadoras (Fuente: IDU)

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 acuerdo con lo anterior, el valor total de la inversión se presentan en la siguiente tabla y cuyo detalle se presenta en la tabla 27 del Anexo.

Presupuesto por componentes	Valor MM COP
Primera Línea del Metro de Bogotá	9 734 450
Troncales Alimentadoras	3 225 649
TOTAL INVERSIÓN	12 960 099

Tabla 19 - Costos totales de inversión (Fuente: SYSTRA)

En este punto es importante recordar que los valores son expresados en pesos constantes de 2016 y suponen una ejecución instantánea. Los valores de los desembolsos necesarios para cubrir los gastos son superiores y deben calcularse a partir de un programa de adquisiciones y obras más detallado que el alcance de esta consultoría.

5.6 Análisis de sostenibilidad financiera en la operación de desarrollo por tramos de la PLMB

Para establecer la sostenibilidad financiera del proyecto en el tiempo, primeramente es necesario establecer el tipo de montaje financiero que el nivel nacional y el nivel distrital adoptarán para el proyecto.

Las inversiones por 12,82 billones de COP serán financiadas en un 70% por la Nación y un 30% por la Administración Distrital. Todas las inversiones iniciales serán asumidas por el poder público a través de la Empresa de Metro de Bogotá que será creada con este propósito. Para efectos del ejercicio de sostenibilidad realizado en este capítulo, se ha considerado que la inversión total para la implantación de la PLMB será asumida por el sector público y que la explotación del sistema será de la responsabilidad de un operador-mantenedor privado, supuesto exigente que será definido en la etapa de estructuración técnica, legal y financiera del proyecto.

5.6.1 Estimación de los costos de explotación

En primer lugar, como para el análisis socio-económico, se utilizan costos de operación y mantenimiento de estudios anteriores de metros en América Latina realizados por SYSTRA, además de un análisis específico para el caso del metro de Bogotá. El costo sin impuestos por vagón*kilómetro para el metro pesado de Bogotá será, a precios de 2016, para el año de la puesta en marcha 2022, de 4,78 USD/vagón.km para el caso de utilización de conductores y de 4,56 USD/vagón.km para el caso de automatización completa de la explotación. Estos costos de explotación no incluyen remuneraciones por inversiones realizadas por el operador ya que estas serán asumidas por el sector público.

5.6.2 Estimación de los costos operacionales por pasajero

En primer lugar, para estimar el costo de operación por pasajero que resulta de la combinación de los modos masivos (metro + troncales) y del sistema de buses zonales para el caso de la canasta Calle 72, se han calculado los costos anuales de cada uno de los modos y estos a su vez se han dividido por la

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

cantidad de embarques anuales en cada uno de los modos. De esta manera se obtiene un costo combinado por pasajero de 1 413 pesos de 2016. Este valor se ha estimado a partir de los nuevos resultados de simulaciones que la SDM ha producido con la ayuda del modelo de 4 etapas y que considera un conjunto de 15 estaciones para el Tramo 1 de la PLMB.

Para conocer si el nivel del costo de operación por pasajero resultante en la Canasta C Calle 72 es superior o inferior al costo de operación por pasajero considerando el escenario “sin proyecto”, es decir el escenario tendencial que implica la no construcción de oferta de transporte público adicional, se ha procedido a realizar el cálculo correspondiente con base en el escenario “sin proyecto” simulado por la SDM al horizonte 2030.

El resultado demuestra que con las inversiones de la Canasta C Calle 72 se obtiene una mejora en el costo operacional por pasajero (se ha considerado un escenario sin conductores de los trenes en coherencia con la estimación de los costos de inversión para un metro automático). Es importante precisar que dentro de los costos de operación y mantenimiento no se incluye remuneración del capital invertido ni fondos para la depreciación o reposición de equipos.

Horizonte 2030	Sin proyecto	Calle 72 (sin conductores)
SISTEMA DE BUSES		
Embarques Troncales (HP)	518 945	567 067
Embarques Zonales (HP)	483 927	483 509
BusTroncal.km (HP)	32 817	26 851
Bus.km (HP)	223 544	200 525
Costos O&M sistema Troncal-Zonal (MM COP/año)	4 954 257	4 386 376
Costo operacional/pasajeros Troncal-Zonal (COP/pas)	1 647	1 392
SISTEMA METRO		
Embarques (HP)	--	62 692
Tren.km adecuados a demanda (HP)	--	1 273
Costos O&M anuales metro (MM COP)	--	332 428
Costo operacional/pasajero (COP/pas)	--	1 768
SISTEMA DE BUSES Y METRO		
Costo operacional/pasajeros Combinado(COP/pas)	1 647	1 413

Tabla 20 - Costo operacional por pasajero de la PLMB a pesos de 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

6. ANEXOS

6.1 Estimaciones de los costos de inversión de las opciones de Canasta

Indicadores de costos unitarios utilizados en la estimación del costo de la PLMB

La estimación de los costos de inversión de la PLMB se basó en un análisis de los costos unitarios por cada componente de inversión, según lo desarrollado para los sistemas ferroviarios en el proyecto de línea subterránea del Consorcio CL1 y según análisis de experiencias locales e internacionales en lo que se refiere a la infraestructura elevada de la línea y de las estaciones. El valor de costo del MR se optimiza posteriormente en la estimación del presupuesto final de la canasta elegida.

<i>Cifras en Millones</i>				
COMPONENTE	UNIDAD	OBSERVACIONES	INDICADOR PROPUESTO	
			Valor unitario (COP)	Valor unitario (USD)
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO				
OBRA CIVIL LÍNEA				
TBM	KM	Ejecución del túnel incluyendo la adquisición de las TBM	\$ 119 700	\$ 38,0
Trinchera con pantallas	KM	Ejecución del túnel en trinchera con pantallas (excavaciones, ejecución de las pantallas, placa de cubierta, etc)	\$ 189 484	\$ 60,2
Viaducto elevado (Norte)	KM	Ejecución del viaducto que incluye: excavaciones, cimentaciones (pilotes), ejecución de pilas y tablero.	\$ 100 800	\$ 32,0
Viaducto elevado (Sur)	KM		\$ 78 750	\$ 25,0
SISTEMA FERROVIARIO	KM	Incluye los siguientes capítulos: Puesto Central de Control, Alimentación eléctrica, Señalización, Sistema de comunicación, superestructura de vía y puertas de andén	\$ 44 100	\$ 14,0
MATERIAL RODANTE	TREN	Valor de cada tren	\$ 44 100	\$ 14,0
ESTACIONES				
Trinchera con pantallas	UN	Promedio del costo de una estación	\$ 153 167	\$ 48,6
Elevadas	UN	Indicador basado en el precio del m2 de centro comercial	\$ 50 400	\$ 16,0
TALLERES Y COCHERAS	TREN	Construcción de los talleres y cocheras en función del número de trenes	\$ 8 190	\$ 2,6
URBANISMO Y PAISAJISMO	KM	Esto incluye: Espacio público (andenes), Carriles mixtos (2 por sentido y pavimento flexible), Paisajismo, Puentes peatonales, Puentes vehiculares	\$ 12 600	\$ 4,0
OBRAS CIVILES ADICIONALES	KM	Comprende lo siguiente: Obras de estructuras afectadas y reubicación de redes de servicios públicos	\$ 11 025	\$ 3,5
A.I.U.	% sobre Costo Directo	Administración, impuestos y utilidades	25%	
OTROS COSTOS				
ESTUDIOS Y DISEÑOS	% Costo de obra	El indicador propuesto incluye diseños de detalle técnicos, financieros y legales y asistencias técnicas en fase de licitación y operación.	4,0%	
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	% Costo de obra	Incluye manejo ambiental del corredor y social	2,5%	
DESVÍOS Y MANEJO DE TRÁFICO	% Costo de obra		4,0%	
PREDIOS Y LEGALIZACIÓN	M2	Costo calculado con	Costo estimado	
ASISTENCIA TÉCNICA EN FASE DE LICITACIÓN DISEÑO Y OBRA	% Costo de obra			
INTERVENTORÍA FASE DE OBRA	% Costo de obra		5,0%	
AUSCULTACIÓN (MANTENIMIENTO)	KM			
ASISTENCIA TÉCNICA A OPERACIÓN	% Costo de obra			

Tabla 21 - Anexo: Indicadores de costos unitarios para analizar canastas para la PLMB a pesos de 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

NODOS PLMB ELEVADO											
ITEM	UNIDAD	CALLE 26		CALLE 63		CALLE 72		CALLE 100		CALLE 127	
		Cantidad	COP	Cantidad	COP	Cantidad	COP	Cantidad	COP	Cantidad	COP
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO											
OBRA CIVIL LÍNEA	KM	12,2	1 005 909	15,8	1 366 015	16,8	1 463 305	19,4	1 728 628	21,2	1 909 721
SISTEMA FERROVIARIO	KM	14,3	632 411	18,4	809 802	19,5	858 981	22,4	988 290	24,5	1 080 748
MATERIAL RODANTE	UN	13,0	573 300	18,0	793 800	23,0	1 014 300	32,0	1 411 200	38,0	1 675 800
ESTACIONES	UN	14,0	705 600	17,0	856 800	18,0	907 200	20,0	1 008 000	22,0	1 108 800
TALLERES Y COCHERAS	UN	44,0	360 360	44,0	360 360	44,0	360 360	44,0	360 360	44,0	360 360
URBANISMO Y PAISAJISMO	KM	14,3	180 689	18,4	231 372	19,5	245 423	22,4	282 369	24,5	308 785
OBRAS CIVILES ADICIONALES (Redes y estructuras varias)	KM	14,3	158 103	18,4	202 450	19,5	214 745	22,4	247 073	24,5	270 187
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS			3 616 371		4 620 599		5 064 315		6 025 920		6 714 401
A.I.U.	25%		904 093		1 155 150		1 266 079		1 506 480		1 678 600
TOTAL CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO			4 520 464		5 775 749		6 330 394		7 532 400		8 393 001
OTROS COSTOS											
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	%	2,5%	113 012	2,5%	144 394	2,5%	158 260	2,5%	188 310	2,5%	209 825
DESVÍOS Y MANEJO DE TRÁFICO	%	4,0%	180 819	4,0%	231 030	4,0%	253 216	4,0%	301 296	4,0%	335 720
PREDIOS Y LEGALIZACIÓN	GL		380 348		435 437		551 567		551 567		551 567
ESTUDIOS, DISEÑOS Y ASISTENCIAS TÉCNICAS	%	4,0%	180 819	4,0%	231 030	4,0%	253 216	4,0%	301 296	4,0%	335 720
INTERVENTORÍA FASE DE OBRA	%	5,0%	226 023	5,0%	288 787	5,0%	316 520	5,0%	376 620	5,0%	419 650
SUBTOTAL OTROS COSTOS			1 081 020		1 330 678		1 532 778		1 719 089		1 852 482
GRAN TOTAL			5 601 484		7 106 427		7 863 172		9 251 489		10 245 483
COSTO POR KM			390 609		387 000		403 694		412 825		418 068

Tabla 22 - Anexo: Matriz de costos de las opciones de nodo de terminación de la PLMB a millones de pesos de 2016 (Fuente: SYSTRA)

Nota: En el análisis de los costos de inversión de las canastas se considera un total de 22 estaciones para la línea completa las cuales van disminuyendo en la medida que se acorta la distancia en cada canasta (el valor de predios se estima según cantidad de estaciones e impactos del viaducto en el contexto urbano). El componente de sistema ferroviario incluye: puesto central de control, alimentación eléctrica, señalización, sistema de comunicación, superestructura de vía y puertas de andén. El componente talleres y cocheras se estima sobre la base de una capacidad de 44 trenes (lo cual se revisa en la estimación del presupuesto final de la canasta elegida)

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

Estimación de costos de troncales alimentadoras asociadas a cada Canasta

COSTOS TRONCALES TRANSMILENIO

TRONCALES	Longitud con metro (Km)	Longitud sin metro (Km)	Costo/km (IDU)	Costo con metro	Costo sin metro	COSTO TOTAL
Carrera 7 (Calle 34 a 170)	16,1		117 148			1 880 576
Caracas sin metro (Heroes a Molinos)	15,4		80 784			1 242 461
Caracas sin metro (Calle 1 a Molinos)	6,3		80 784			509 748
Caracas con Metro (Calle 1 a Heroes)	9,0		53 343			480 126
PLMB hasta Calle 6	0,71	8,29		38 129	669 371	707 500
PLMB hasta Calle 26	3,07	5,93		163 799	479 053	642 852
PLMB hasta Calle 53	5,82	3,18		310 453	256 956	567 410
PLMB hasta Calle 63	7,10	1,90		378 577	153 788	532 365
PLMB hasta Calle 72	8,21	0,79		438 032	63 748	501 780
Caracas (Molinos a Yomasa)	5,9		80 229			474 152
Autonorte sin AU (Heroes a Calle 170)	10,0		83 061			830 612
Autonorte sin AU con Metro (Heroes a Calle 170)	10,0		76 970			769 696
PLMB hasta Calle 85	0,71			480 126	54 421	534 547
PLMB hasta Calle 100	2,19			480 126	168 612	648 738
PLMB hasta Calle 127	4,29			480 126	329 979	810 105
AV. 68 (Autosur a Cra7)	16,93					1 621 923
Desde AutoSur hasta Suba	13,74		94 179			1 294 015
Desde Suba hasta 1ro Mayo	12,00		94 179			1 130 144
Desde Suba hasta Cra7	3,19		102 954			327 908
Desde Suba hasta Autonorte	0,92		102 954			94 718
Boyacá sin AU (Yomasa a 170)	35,1		84 758			2 972 462
Desde AutoSur hasta Suba	17,21		84 758			1 458 685
Desde AutoSur hasta CL80	13,40		84 758			1 135 757
Desde AutoSur hasta CL26	9,27		84 758			785 706
Av. Ciudad de Cali (Av. Bosa a Calle 170)	28,3		114 757			3 247 619
Desde Av Bosa hasta Portal 80	18,74		114 757			2 150 543
Desde Av Bosa hasta CL26	15,27		114 757			1 752 337
Portal Américas hasta CL13	2,13		114 757			244 432
Desde Av Bosa hasta Portal Américas	7,29		114 757			836 577
AVENIDA VILLAVICENCIO	2,5		30 000			75 000

Tabla 23 - Anexo: Estimación de costos de troncales asociadas a cada Canasta y costo de las estaciones de integración metro-TM (Fuente: IDU)

Notas:

- Costos estimados de acuerdo con la información remitida por el IDU
- Los valores en líneas sombreadas son las estimaciones utilizadas para el cálculo del costo de inversión de cada Canasta

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

Costo estimado para cada alternativa de canasta (PLMB + troncales)

Los costos de inversión de cada canasta incluyen los costos propios de cada una de ellas según longitud y número de estaciones (primer renglón), los costos comunes a cada una de ellas (5 renglones posteriores) y los costos de inversión de un conjunto de troncales a ser implantadas según el saldo entre el presupuesto disponible y el costo de la PLMB.

CONCEPTO	CANASTA A		CANASTA B1		CANASTA C		CANASTA D		CANASTA E	
	PLMB ELEVADA HASTA CALLE 26		PLMB ELEVADA HASTA CALLE 63		PLMB ELEVADA HASTA CALLE 72		PLMB ELEVADA HASTA CALLE 100		PLMB ELEVADA HASTA CALLE 127	
	COP	USD	COP	USD	COP	USD	COP	USD	COP	USD
ALTERNATIVA SELECCIONADA (Incluye patio y centro de control)	5 601 484	1 778,25	7 106 427	2 256,01	7 863 172	2 496,25	9 251 489	2 936,98	10 245 483	3 252,53
RAMAL TÉCNICO	1 057 366	335,67	1 057 366	335,67	1 057 366	335,67	1 057 366	335,67	1 057 366	335,67
NODO DE TERMINACIÓN	126 884	40,28	126 884	40,28	126 884	40,28	126 884	40,28	126 884	40,28
TRONCAL CARACAS O AUTONORTE	642 852	204,08	532 365	169,00	501 780	159,30	648 738	205,95	810 105	257,18
AVENIDA VILLAVICENCIO	75 000	23,81	75 000	23,81	75 000	23,81	75 000	23,81	75 000	23,81
ESTACIONES DE INTEGRACIÓN CON TM	201 600	64,00	201 600	64,00	252 000	80,00	252 000	80,00	252 000	80,00
PLMB + COSTOS COMUNES	7 705 187	2 446	9 099 643	2 889	9 876 202	3 135	11 411 477	3 623	12 566 839	3 989
	CANASTA A		CANASTA B1		CANASTA C		CANASTA D		CANASTA E	
Av. 68 (AutoSur a Suba)	1 294 015	410,80	1 294 015	410,80	1 294 015	410,80				
Av. 68 (Suba a Cra 7)	327 908	104,10			327 908	104,10				
Av. Boyacá (AutoSur a Suba)	1 458 685	463,07					1 458 685	463,07		
Av. Boyacá (AutoSur a CL80)			1 135 757	360,56						
Av. Boyacá (AutoSur a CL26)					785 706	249,43				
Av. Ciudad de Cali (Av Bosa - Portal 80)	2 150 543	682,71								
Av. Ciudad de Cali (Av Bosa - CL26)			1 752 337	556,30						
Av. Ciudad de Cali (Av Bosa - P Americas)					836 577	265,58				
TRONCALES	5 231 152	1 660,68	4 182 109	1 327,65	3 244 207	1 029,91	1 458 685	463,07	0	0,00
TOTAL CANASTA	12 936 338	4 106,77	13 281 752	4 216,43	13 120 410	4 165,21	12 870 162	4 085,77	12 566 839	3 989,47

Tabla 24 - Anexo: Costo estimado para cada alternativa de Canasta PLMB + Troncales (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

Costo de predios y legalización (Fuente: IDU)

Alternativa de Nodo	Predios totales (un)	Área construida (m2)	Predios privados (un)	Costo predios privados (COP)
Calle 26	1056	321 277	740	380 348 243 936
Calle 63	1136	330 514	821	435 437 334 797
Calle 72	1281	347 051	964	551 566 624 087
Calle 100	1281	347 051	964	551 566 624 087
Calle 127	1281	347 051	964	551 566 624 087

Tabla 25 - Anexo: Estimación de costos de predios y su legalización (Fuente: IDU)

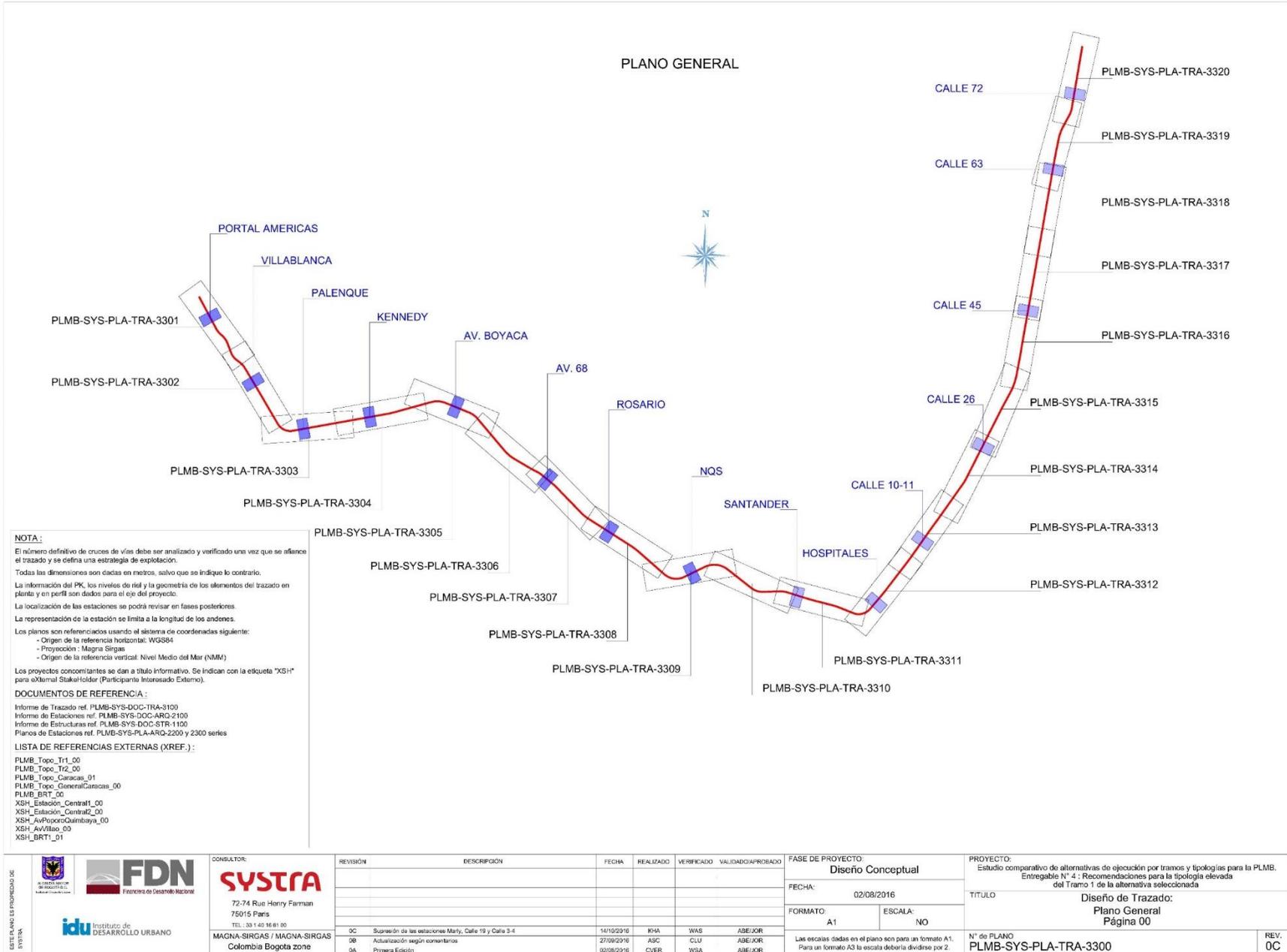
Notas:

- Estimación incluye las estaciones Calle 3-4, Calle 19 y Calle 53
- En las canastas Calle 72, Calle 100 y Calle 127 se estiman el mismo número de predios a ser adquiridos ya que a partir de la calle 76 no hay afectación por causa del viaducto o de las estaciones

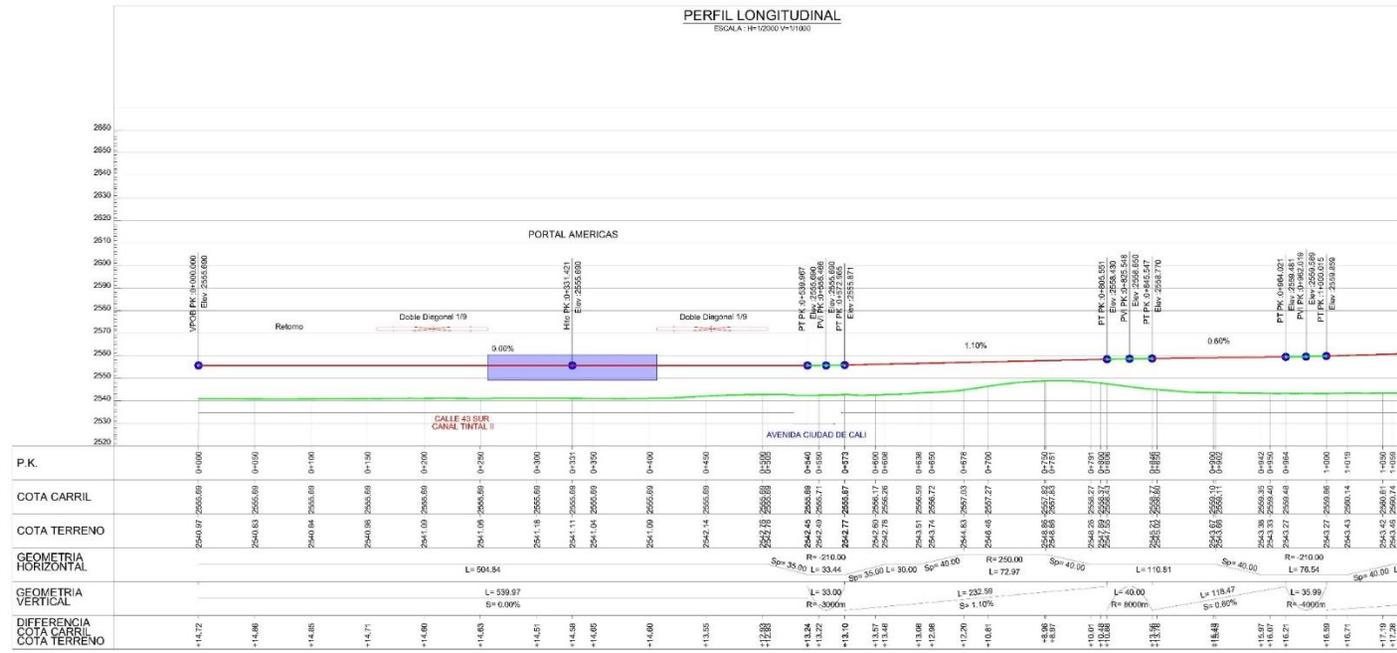
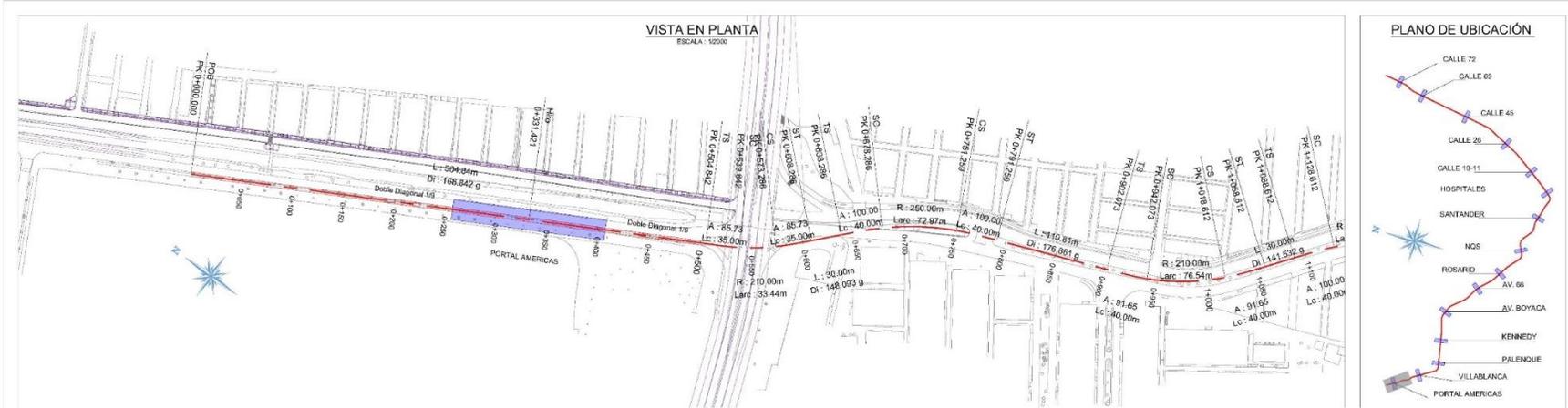
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio

6.2 Trazado ferroviario de la PLMB entre estación Portal Américas y estación Calle 72 (plantas y perfil longitudinal)

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de riel y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son dadas para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguientes:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concordantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para «External Stakeholder (Participante Interesado Externo)».
La lista de referencias externas (enif) asociada a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-310
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARC-2100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-SIR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARC-2330 y 2300 serie.

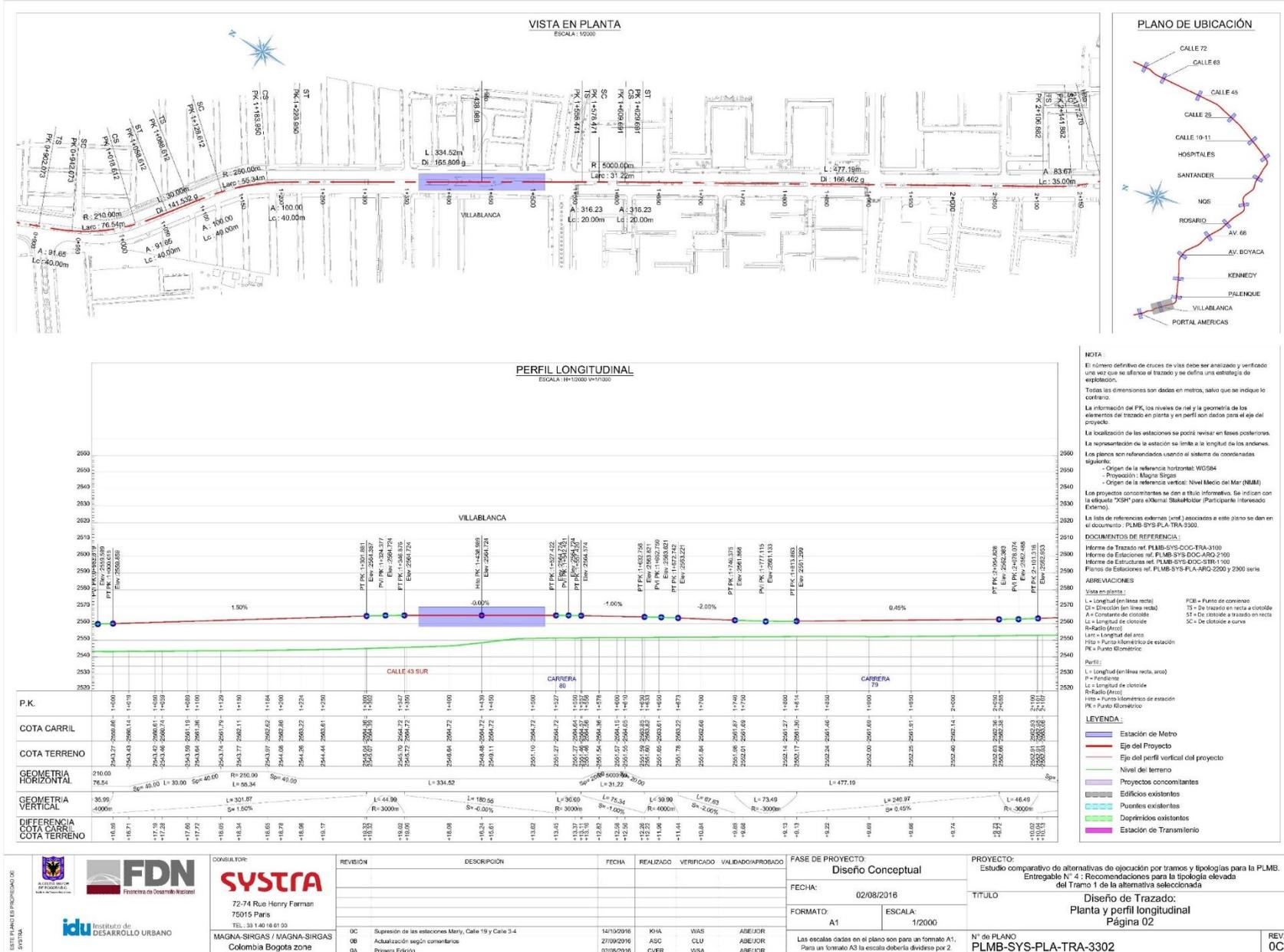
ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) POB = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De trazado en recta a circuloide
A = Constante de circuloide ST = De circuloide a trazado en recta
Lc = Longitud de circuloide SC = De circuloide a curva
R = Radio (metros)
Larc = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico.

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Ponderación
Lc = Longitud de circuloide
R = Radio (metros)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico.

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concordantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmisión

ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE IDU		CONSULTOR: 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: +33 1 40 98 81 00 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	REVISIÓN OC Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4 OB Actualización según comentarios OA Primera Edición	FECHA 14/10/2016 27/09/2016 02/08/2016	REALIZADO KHA ASC CVER	VERIFICADO WAS CLU WSA	VALIDADO/APROBADO ABE/JOR ABE/JOR ABE/JOR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Párrafo 01	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3301	REV: OC
--------------------------------	--	---	---	--	--	--	---	---	---	--	-------------------

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

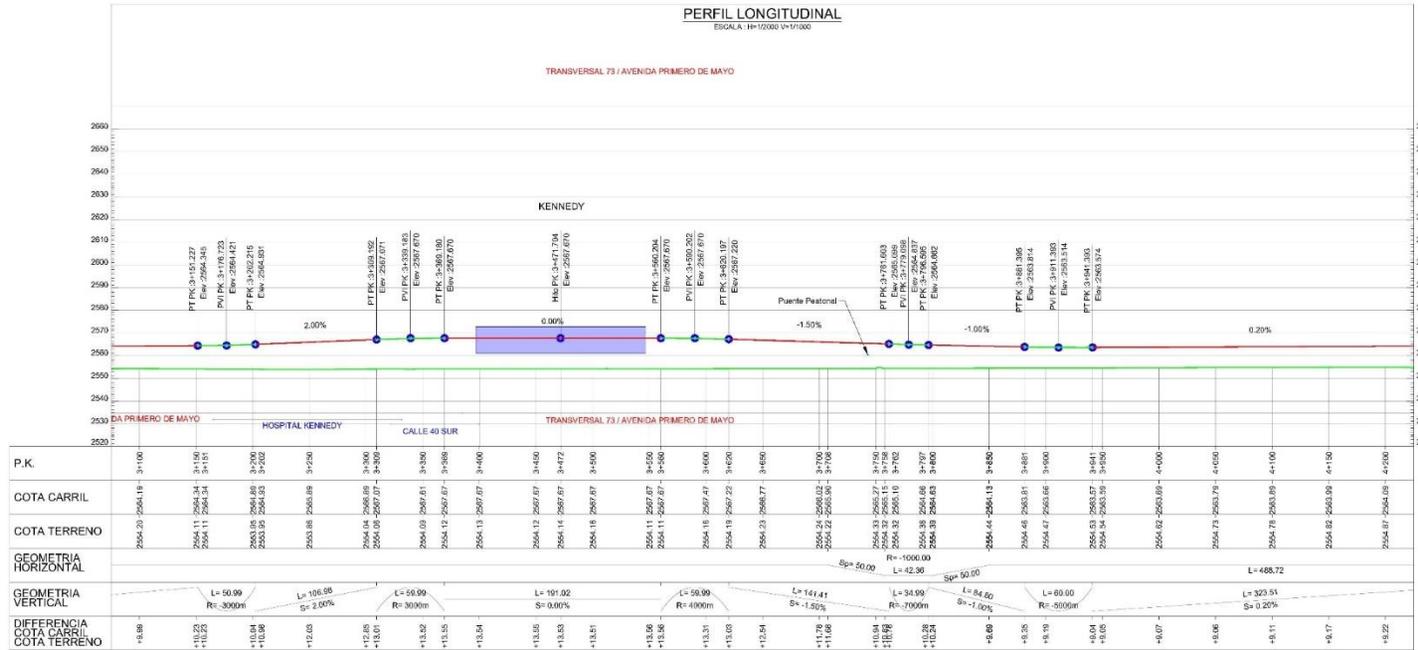


Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio



	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 (0) 1 46 88 11 60 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	REVISIÓN DESCRIPCIÓN FECHA REALIZADO VERIFICADO VALIDADO/APROBADO	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada
	OC Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4 OB Actualización según comentarios OA Primera Edición	14/10/2016 KVA WAS ABEJOR 27/09/2016 ASC CLU ABEJOR 02/08/2016 CVER WSA ABEJOR	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3303	TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 03
	REV: 0C	Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.	REV: 0C	

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de riel y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores.
La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguientes:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSSH" para «Xtremal Stakeholder» (Participante Interesado Externo).
Las listas de referencias externas (xref) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-EST-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ANG-2300 y 2300 serie

ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta, arco) POS = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De traspaso en recta a curva
A = Constante de abscisa S1 = De curvas a traspaso en recta
Lc = Longitud de curva SC = De doblaje a curva
R = Radio (Arco)
Larc = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de curva
R = Radio (Arco)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depresións existentes
Estación de Transmilenio

ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE EJECUCIÓN POR TRAMOS Y TIPOLOGÍAS DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ (PLMB)

FDN Financiera de Desarrollo Nacional

idu Instituto de Desarrollo Urbano

SYSTRA

72-74 Rue Henry Farman
75015 Paris
TEL: 33 1 49 16 61 66

MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS
Colombia Bogotá zone

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/APROBADO
0C	Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4	14/10/2016	KHA	WAS	ABE/JOR
0B	Actualización según comentarios	27/09/2016	ASC	CLU	ABE/JOR
0A	Primera Edición	02/08/2016	CVER	WSA	ABE/JOR

FASE DE PROYECTO:
Diseño Conceptual

FECHA: 02/08/2016

FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000

Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.

PROYECTO:
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada

TÍTULO:
Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal
Página 04

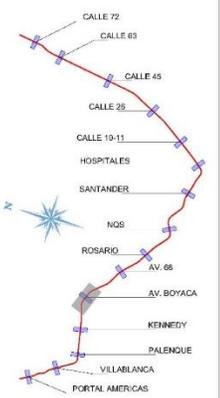
N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3304

REV: 0C

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



PLANO DE UBICACIÓN



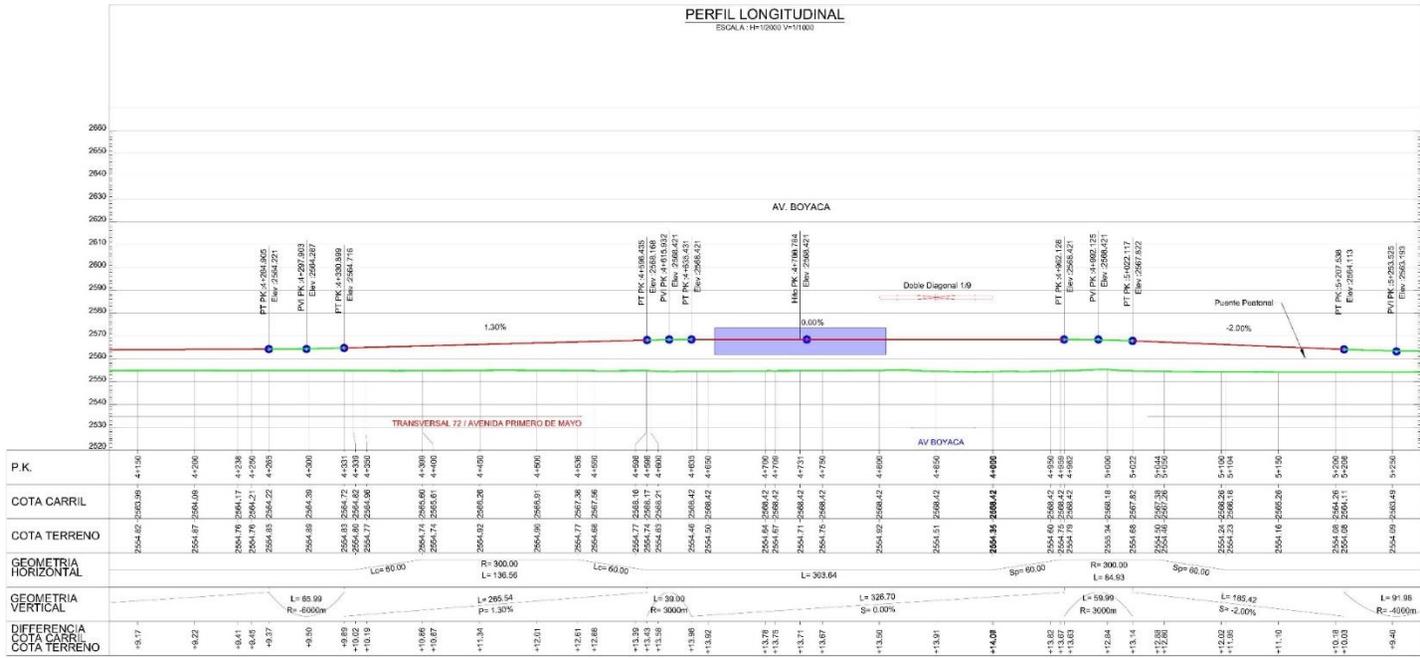
NOTA:
El número definitivo de cruces de vista debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información de PK, los niveles de tal y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores.
La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (N.M.M.)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para «Xtremal Stakeholder» (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (ref.) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-ARG-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARG-2500 y 2300 serie

ABREVIACIONES:
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta)
D = Dirección (en línea recta)
A = Constante de curvatura
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Larc = Longitud del arco
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

PERFIL:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Derrumbios existentes
Estación de Transmilenio



ESTE PLANO ESPERIMENADO DE SISTEMA

FDN Financiera de Desarrollo Nacional

idu Instituto de DESARROLLO URBANO

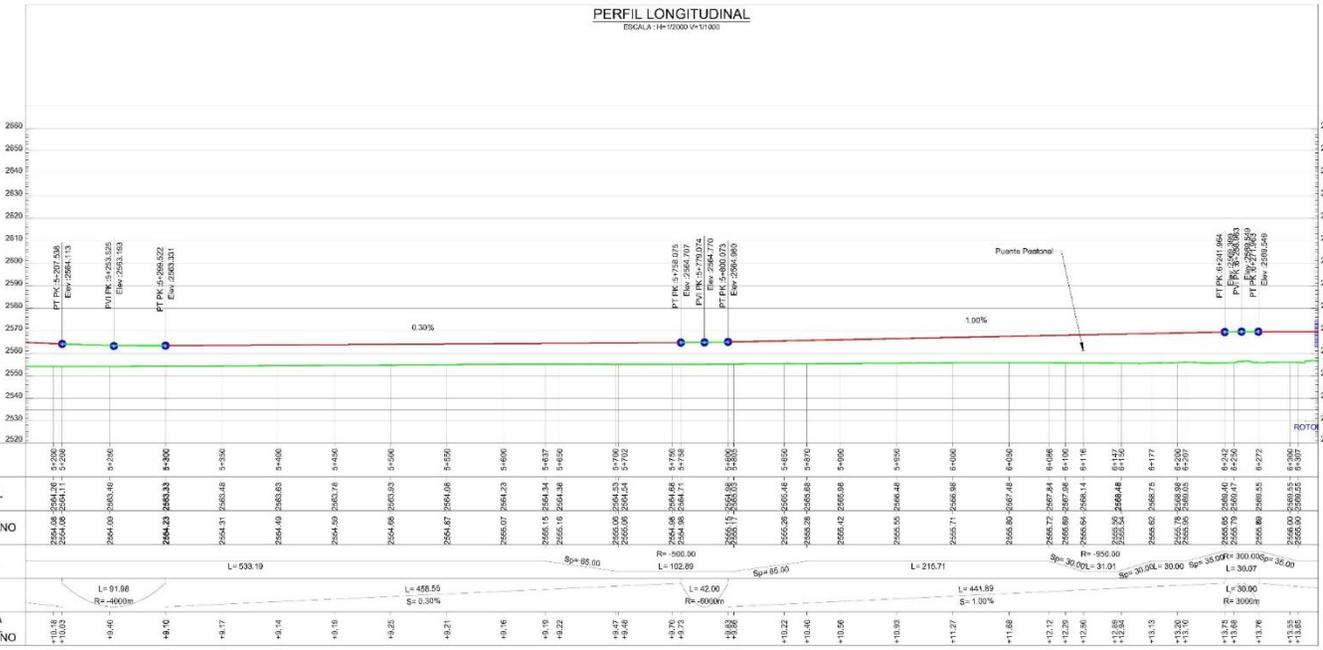
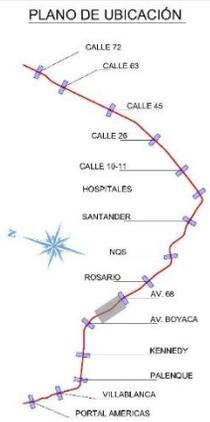
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/PROBADO
0C	Supresión de las estaciones Marly, Calle 19 y Calle 3-4	14/10/2016	RHA	WAS	ADEJOR
0B	Ajustación según comentarios	27/08/2016	ASC	GLU	ADEJOR
0A	Primera Edición	02/08/2016	OVER	WSA	ADEJOR

CONSULTOR: **SYSTRA**
72-74 Rue Henry Farman
75015 Paris
TEL.: 33 1 40 18 61 00
MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS
Colombia Bogota zone

FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual		PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada
FECHA: 02/08/2016	TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 05	N° de PLANO PLMB-SYS-PLA-TRA-3305
FORMATO: A1	ESCALA: 1/2000	REV. 0C

Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de ras y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes. Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguientes:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sípaga
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concernientes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para eXternal StakeHólder (Participante Interesado Externo).
La falta de referencias externas (perfil) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-EST-3100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARG-2300 y 2300 serie

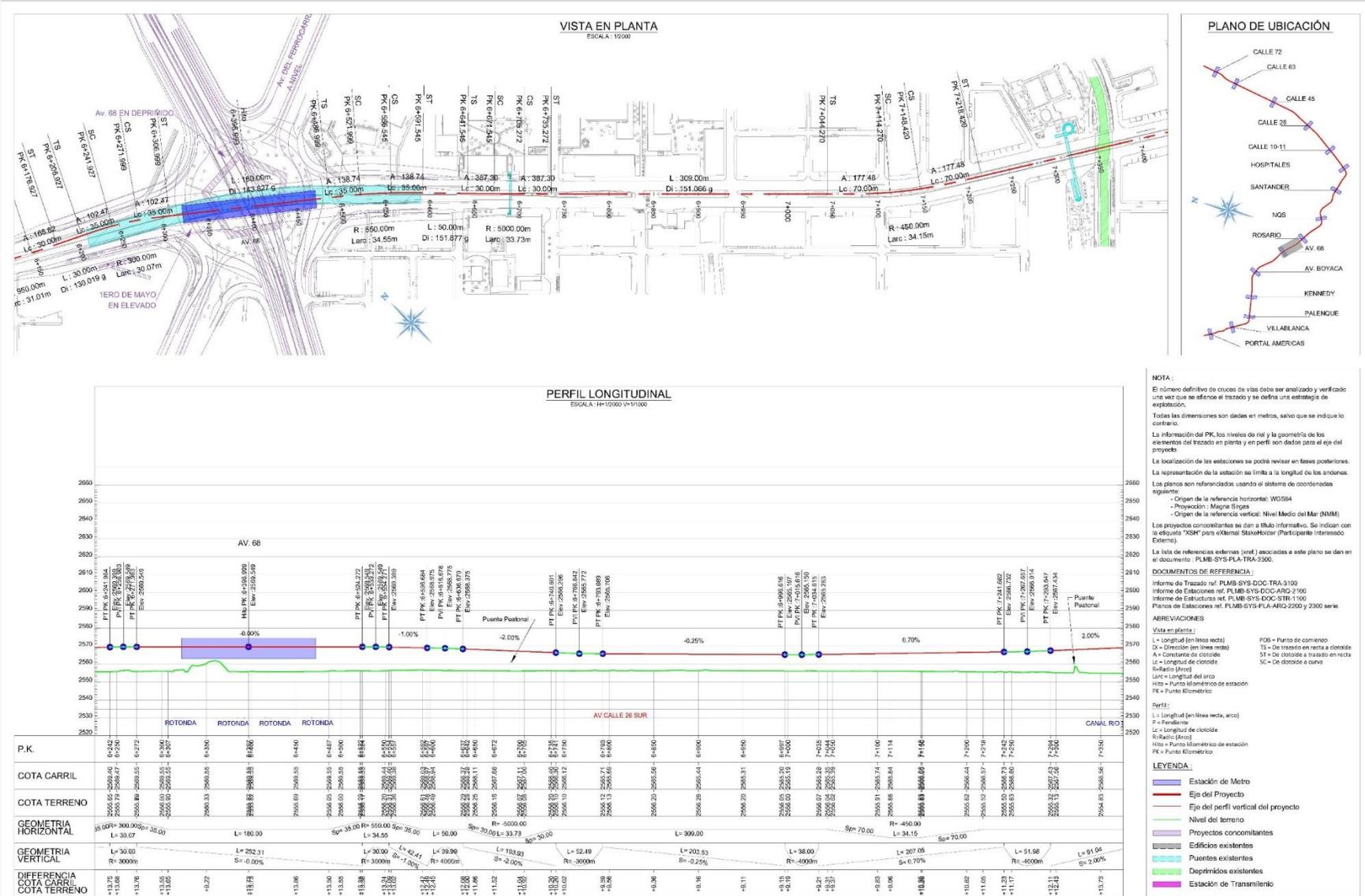
ABREVIACIONES:
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) PDB = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De trazado en recta a cizolote
A = Constante de cizolote ST = De cizolote a trazado en recta
L = Longitud de cizolote
R = Radio (metros)
Larc = longitud del arco
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pivote
L = Longitud de cizolote
Radio (Arco)
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concernientes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmilenio

ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE SYSTRA		CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL.: 33 1 40 16 61 00 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogota zone	REVISIÓN DESCRIPCIÓN FECHA REALIZADO VERIFICADO VALIDADARROBADO OC Supresión de las estaciones Mary, Calle 19 y Calle 3-4 14/10/2016 KHA WAS ABEJOR OB Actualización según comentarios 27/09/2016 ASC CLU ABEJOR DA Primera Edición 02/08/2016 CVER WSA ABEJOR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000 Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entrega N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 06	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3306 REV: 0C
-----------------------------------	--	---	---	--	---	--

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de rasé y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son dados para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NMM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para el ítem Stakeholder (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (enrol) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref: PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref: PLMB-SYS-DOC-EST-2100
Informe de Estaciones ref: PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref: PLMB-SYS-PLA-ENG-2200 y 2300 serie.

ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta)
D = Dirección (en línea recta)
A = Constante de abscisa
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Larc = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en líneas recta, arco)
P = Pendenza
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depresiones existentes
Estación de Transmisor

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/APROBADO
0C	Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4	14/10/2016	KHA	WAS	ABEJOR
0B	Actualización según comentarios	27/09/2016	ASC	CLU	ABEJOR
0A	Primera Edición	03/08/2016	CVER	WSA	ABEJOR

FASE DE PROYECTO:
Diseño Conceptual

FECHA: 02/08/2016

FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000

Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.

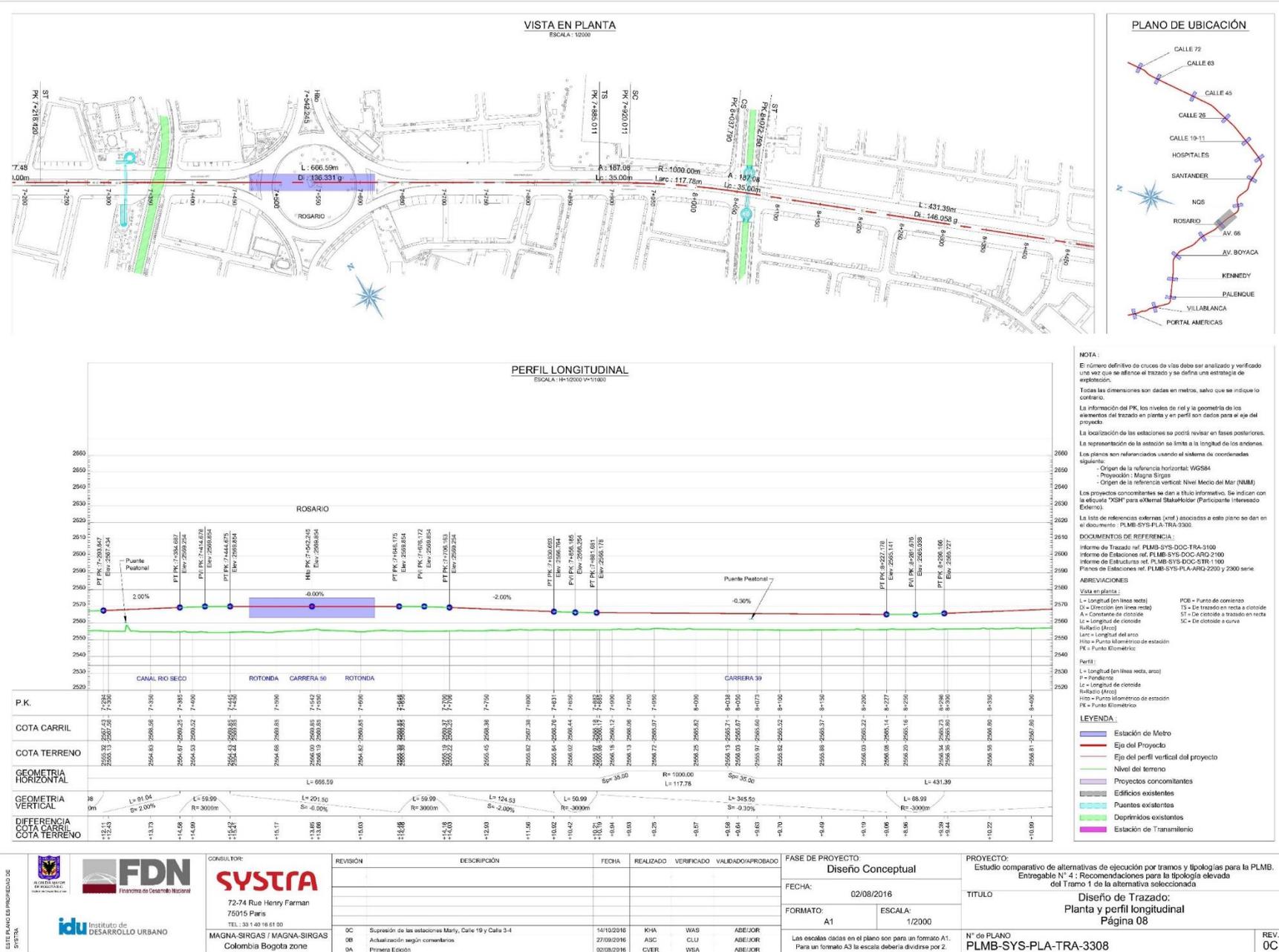
PROYECTO:
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada

TÍTULO:
Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal
Página 07

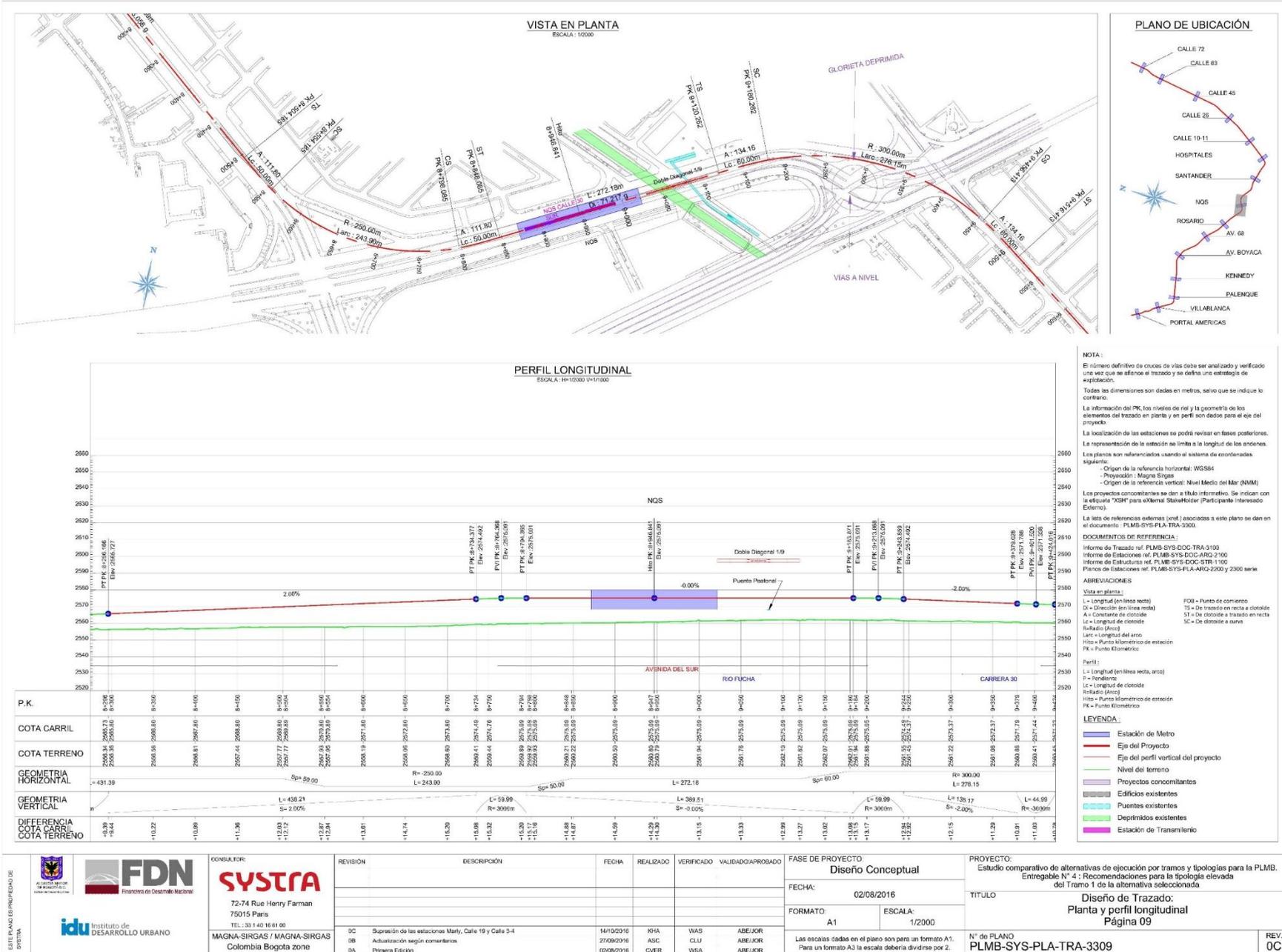
N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3307

REV. 0C

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

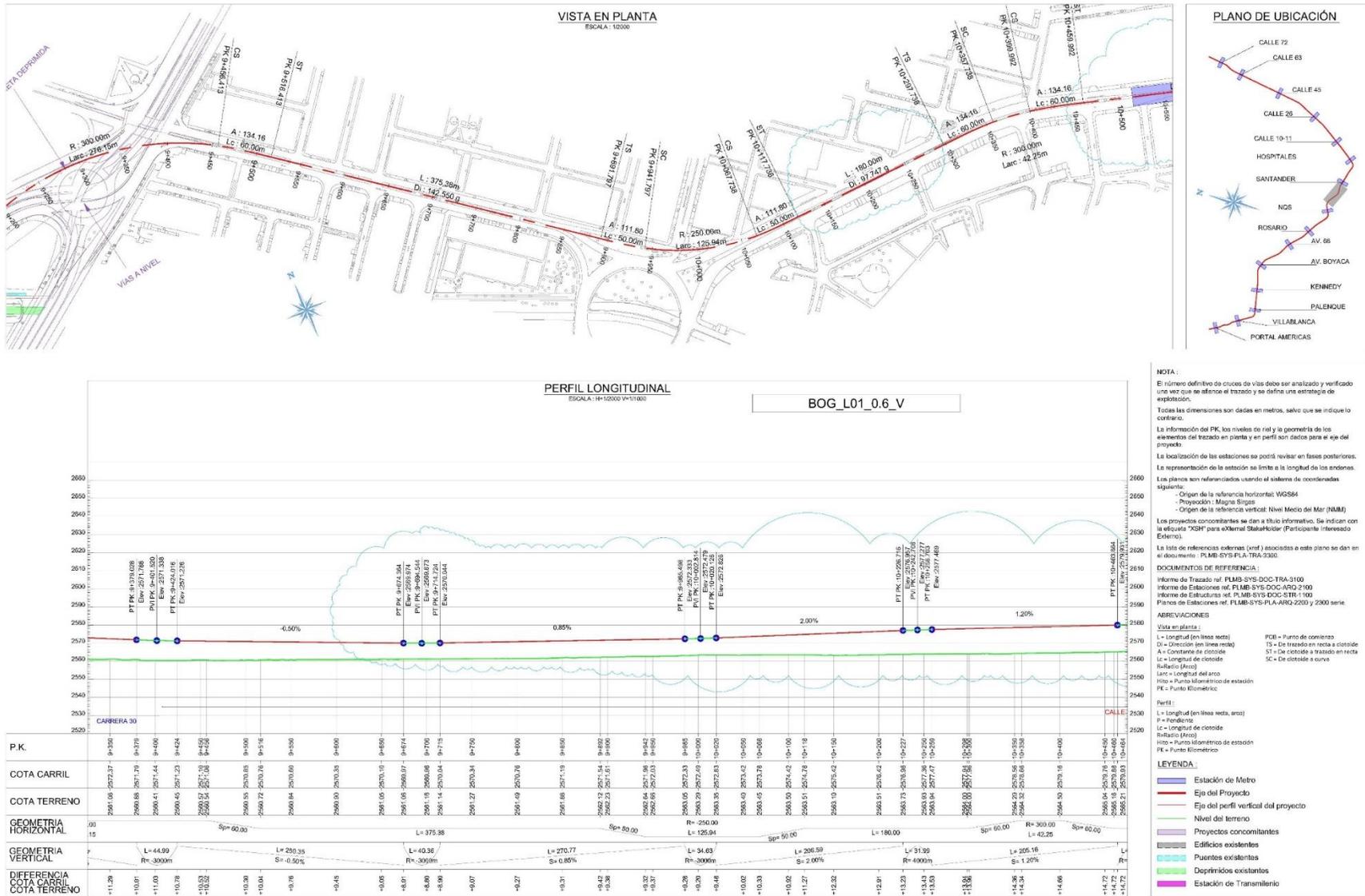


Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio



ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE 	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: +33 1 40 16 61 00	REVISION 0C Supresión de las estaciones Martí, Calle 19 y Calle 3-4 0B Actualización según comentarios 0A Primera Edición	DESCRIPCIÓN MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	FECHA 14/10/2016 27/09/2016 02/08/2016	REALIZADO ROA ASC CVER	VERIFICADO WAS CLU WSA	VALIDADO/APROBADO ABEJOR ABEJOR ABEJOR	FASE DE PROYECTO Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 09	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3309	REV.: 0C
--------------------------------	---	---	---	--	--	--	--	---	--	--	--------------------

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



NOTA:
El número definitivo de curvas de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información de PK, los niveles de ras y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NMM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para «External StakeHolder» (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (xsh) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3310

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARG-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARG-2200 y 2300 serie

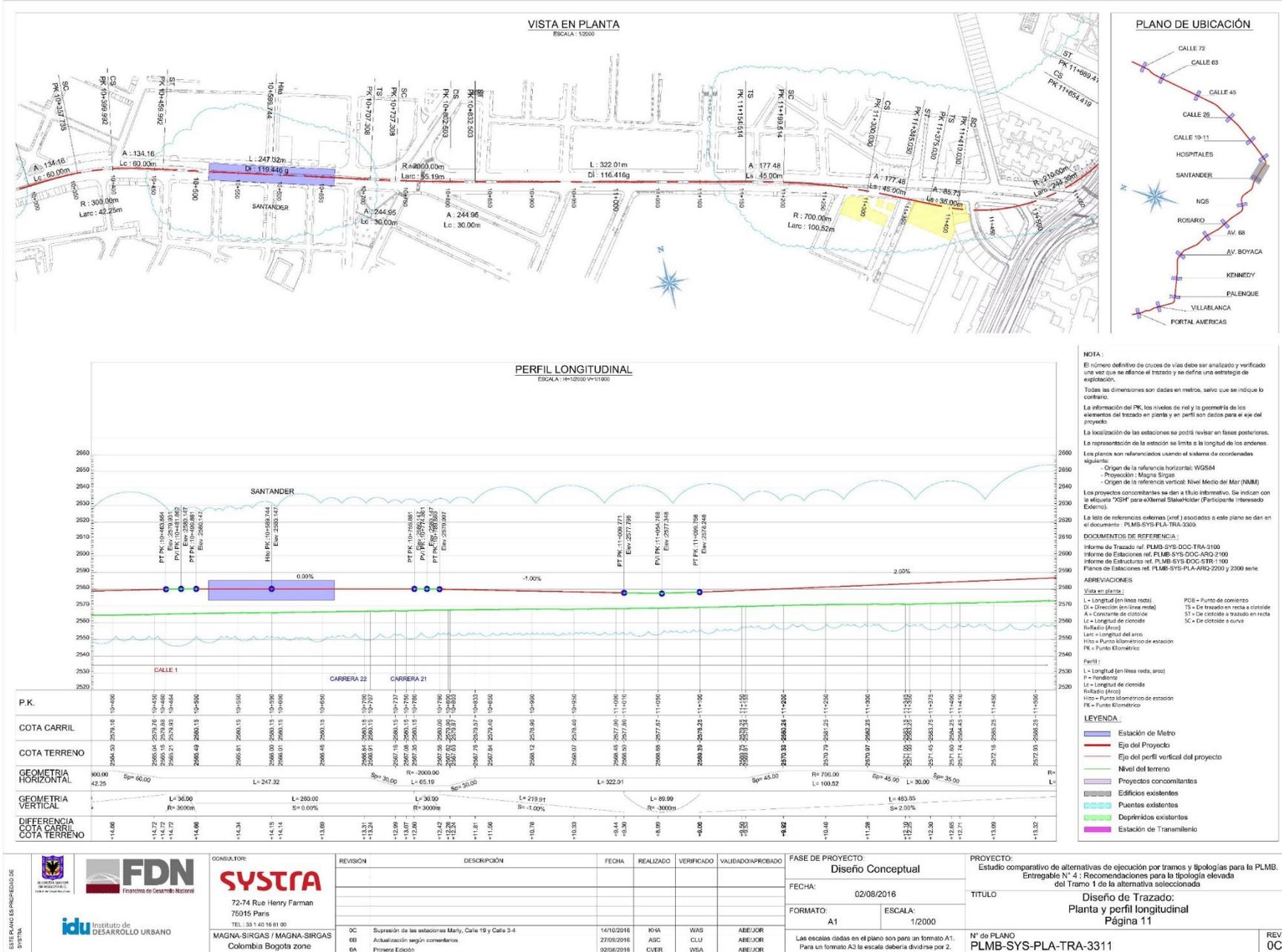
ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta)
D = Dirección (en línea recta)
A = Constante de cota
Lc = Longitud de cota
R = Radio (en m)
Larc = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cota
R = Radio (en m)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

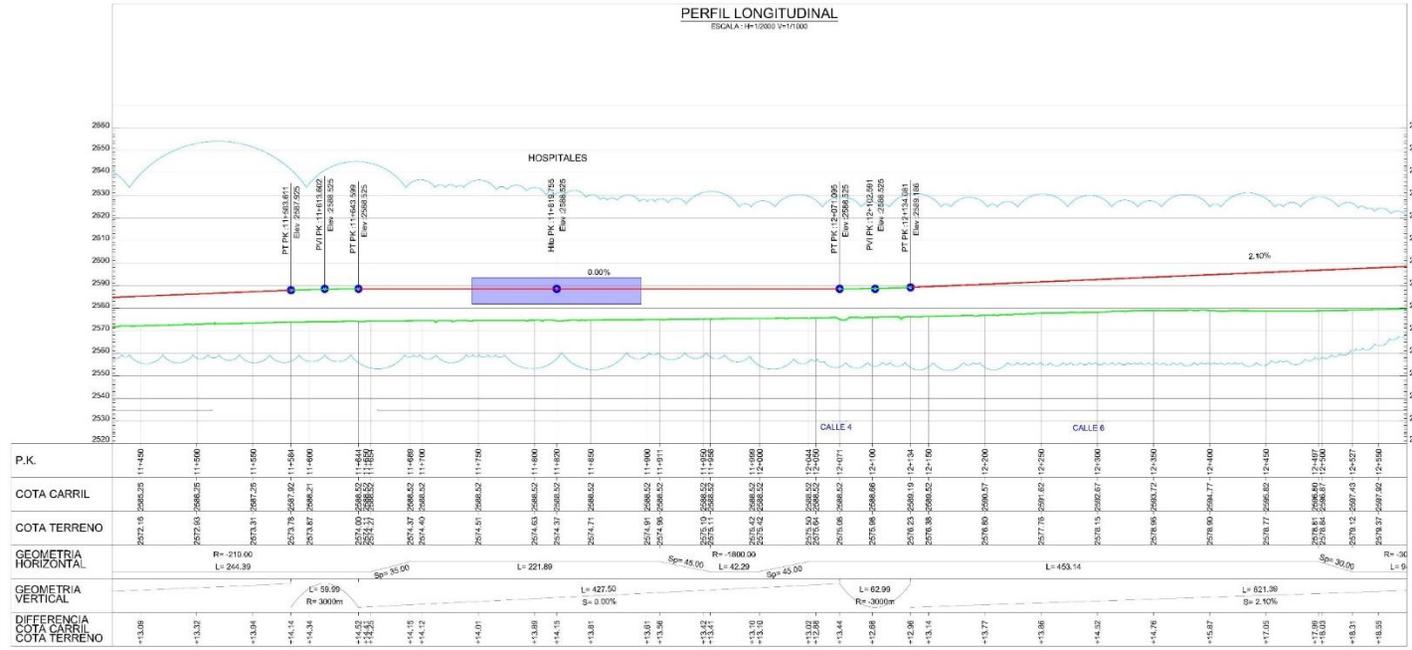
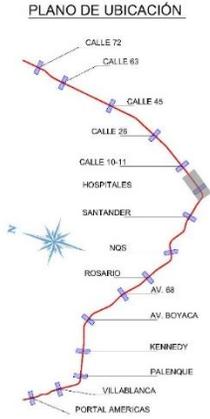
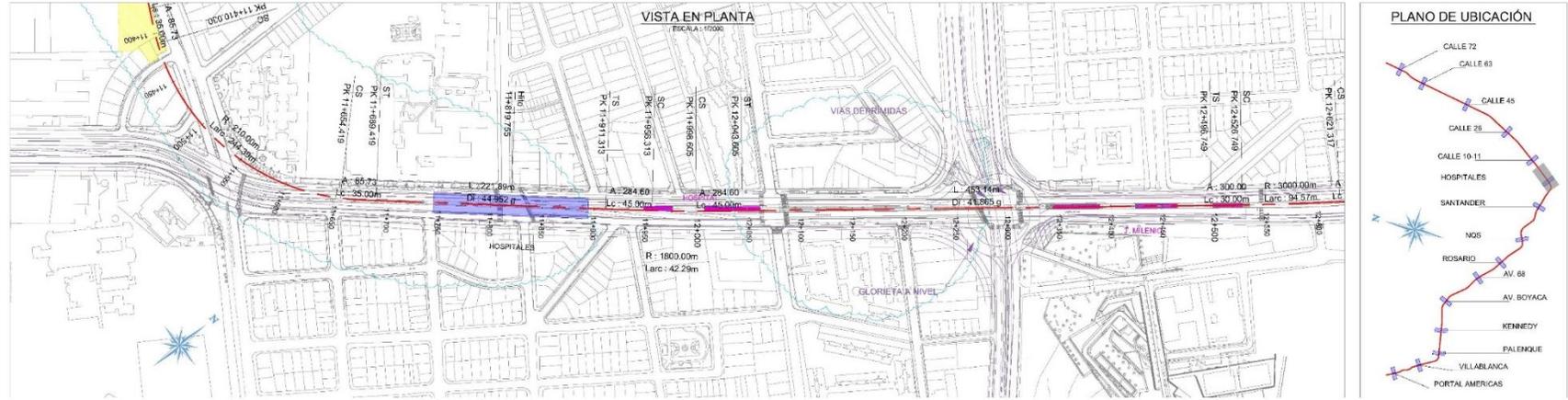
LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depsrminos existentes
Estación de Transmisor

	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL.: 33 1 40 18 61 00	REVISION OC Supresión de las estaciones Marly, Calle 19 y Calle 3-4 08 Actualización según comentarios 0A Primera Edición	DESCRIPCIÓN Supresión de las estaciones Marly, Calle 19 y Calle 3-4	FECHA 14/10/2016 27/09/2016 02/08/2016	REALIZADO KHA ABC CVER	VERIFICADO WAS CLU WSA	VALIDADO/APROBADO ABEJOUR ABEJOUR ABEJOUR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual	FECHA: 02/08/2016	FORMATO: A1	ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4 : Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada	TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 10	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3310	REV.: 0C
	SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL.: 33 1 40 18 61 00	MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogota zone	OC 08 0A	Supresión de las estaciones Marly, Calle 19 y Calle 3-4 Actualización según comentarios Primera Edición	14/10/2016 27/09/2016 02/08/2016	KHA ABC CVER	WAS CLU WSA	ABEJOUR ABEJOUR ABEJOUR	Diseño Conceptual	02/08/2016	A1	1/2000	Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4 : Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada	Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 10	PLMB-SYS-PLA-TRA-3310

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de ni y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes. Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguientes:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para external Stakeholder (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (perfil) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARG-3100
Informe de Estudios ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARG-2300 y 2300 serie

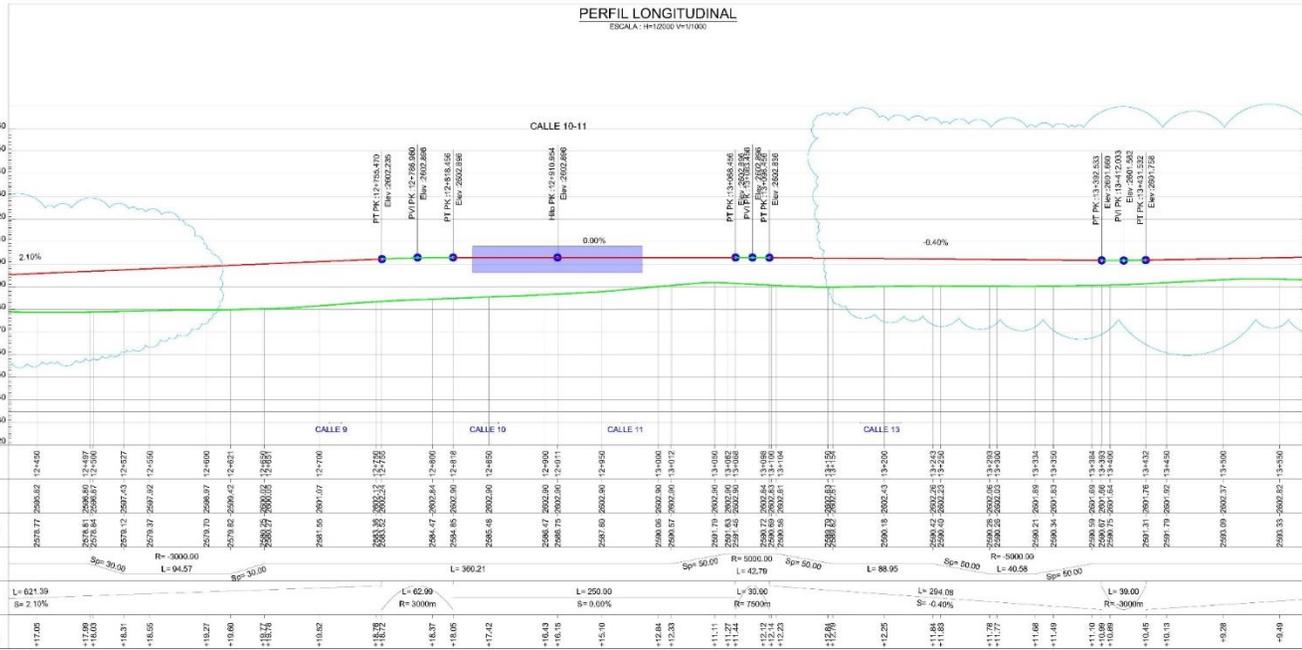
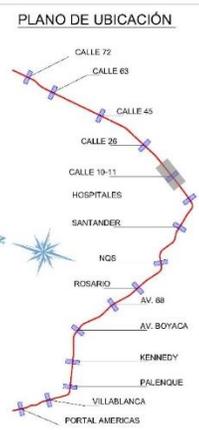
ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) FOL = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea media) TS = De trazo en recta a cicloide
A = Constante de cicloide ST = De cicloide a trazo en recta
Lc = Longitud de cicloide
R = Radio (metros)
L = Longitud de arco
Larc = Longitud del arco
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cicloide
R = Radio (metros)
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmilenio

ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE SISTRA		CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 (0)1 48 16 61 00 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogota zone	REVISIÓN OC: Supresión de las estaciones Mary, Calle 19 y Calle 3-4 OB: Actualización según comentarios OA: Primera Edición	DESCRIPCIÓN	FECHA 14/10/2016 27/09/2016 02/08/2016	REALIZADO KIA CLU CVER	VERIFICADO WAS CLU WSA	VALIDADO/APROBADO ABEJOUR ABEJOUR ABEJOUR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entrega N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada	N° de PLANO PLMB-SYS-PLA-TRA-3312	REV. OC
		FECHA: 02/08/2016	TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 12	FORMATO: A1	ESCALA: 1/2000	Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.	REV.					

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de red y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes. Las plantas son referenciadas usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con el código "XSH" para eXternal StakeHolder (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (ref.) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3303.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DCC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DCC-ARR-2160
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DCC-STR-1100
Plano de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARR-2200 y 2300 serie

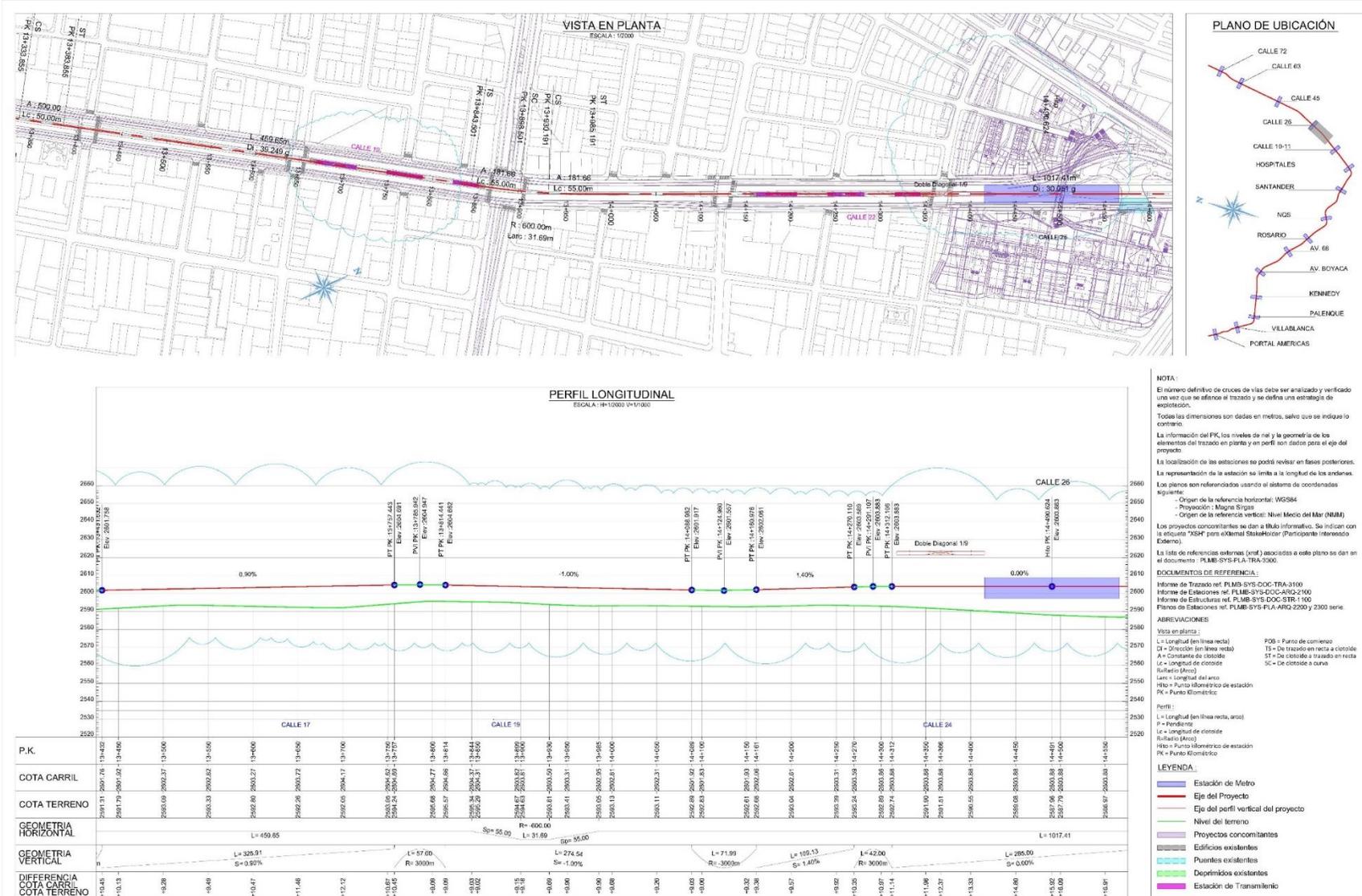
ABREVIATURAS:
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) P.O.B. = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De trazado en recta a cicloide
A = Constante de cicloide ST = De cicloide a trazado en recta
Lc = Longitud de cicloide SC = De cicloide a curva
Tallado (Arco) L = Longitud del arco
LARC = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cicloide
R=Radio (Arco)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmisorio

ESTADANO PROPIEDAD DE 	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 1 40 16 81 00	REVISIÓN OC Supresión de las estaciones María, Calle 19 y Calle 3-4 OB Actualización según comentarios OA Primera Edición	DESCRIPCIÓN Magna-Sirgas / Magna-Sirgas Colombia Bogotá zone	FECHA 14/10/2016 27/09/2016 02/05/2016	REALIZADO KHA ASC CVER	VERIFICADO WAS CLU WSA	VALIDADO/APROBADO ABEJ/JOR ABEJ/JOR ABEJ/JOR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000 Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada. TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 13	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3313	REV: 0C
---------------------------	--	---	---	--	--	--	--	--	--	--	-------------------

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de tal y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores.
La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NMM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con el símbolo PSMF para external Stakeholder (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (psmf) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-FLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARA-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-SIR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-FLA-ARQ-2200 y 2300 serie.

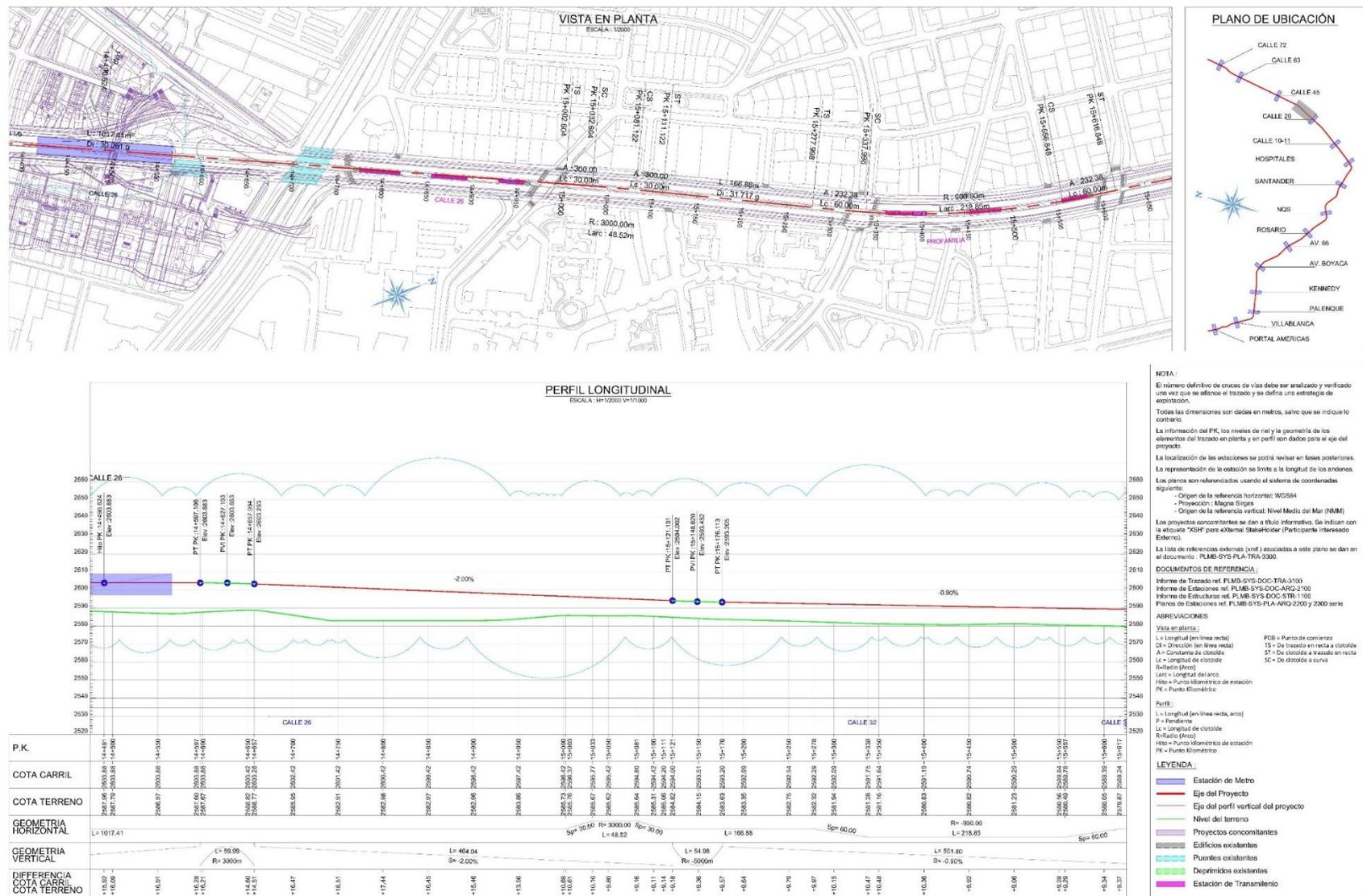
ABREVIACIONES:
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta)
D = Dirección (en línea recta)
A = Constante de curvatura
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Larc = Longitud del arco
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmisión

	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 1 40 16 61 00	REVISIÓN DESCRIPCIÓN FECHA REALIZADO VERIFICADO VALIDADO/APROBADO	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 14	N° de PLANO: PLMB-SYS-FLA-TRA-3314	REV. 0C
	MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	0C Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4 0B Actualización según comentarios 0A Primera Edición	14/10/2016 KHA WAS ABEJOR 27/09/2016 ASC CLU ABEJOR 02/08/2016 CVER WSA ABEJOR	Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de tal y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de las andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguientes:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos complementarios se dan a título informativo. Se indican con la sigla "XOIF" para el área de Siba/Boicor (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas ("ref") asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARC-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARC-2200 y 2300 serie

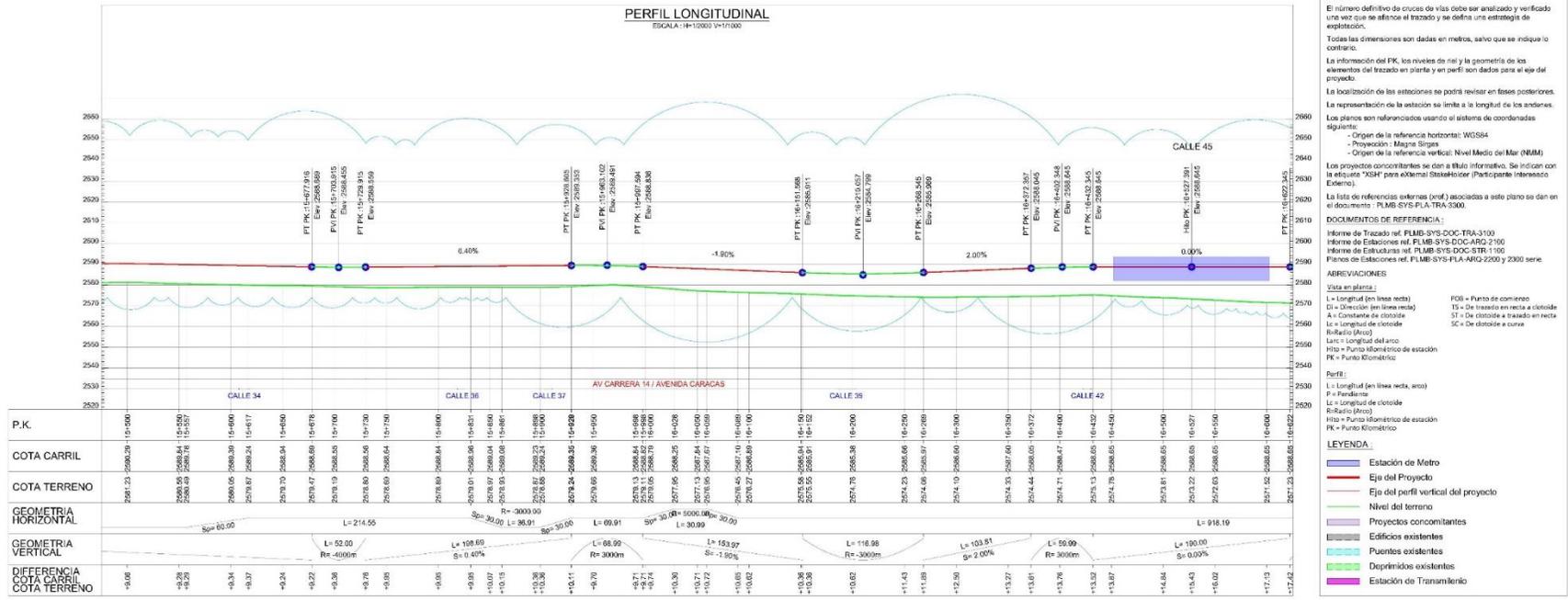
ABREVIACIONES:
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta)
D = Dirección (en línea recta)
A = Constante de curvatura
Lc = Longitud de clivote
R = Radio (en metros)
Larc = Longitud del arco
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de clivote
R = Radio (en metros)
Hto = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Deprimidos existentes
Estación de Transmisor

	CONSEJERO: 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 1 40 18 61 00 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	REVISIÓN <table border="1"> <thead> <tr> <th>REVISIÓN</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>FECHA</th> <th>REALIZADO</th> <th>VERIFICADO</th> <th>VALIDADO/APROBADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0C</td> <td>Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4</td> <td>14/10/2016</td> <td>KHA</td> <td>WAS</td> <td>ABE/JOR</td> </tr> <tr> <td>0B</td> <td>Actualización según comentarios</td> <td>27/09/2016</td> <td>ASC</td> <td>CLU</td> <td>ABE/JOR</td> </tr> <tr> <td>0A</td> <td>Primera Edición</td> <td>02/08/2016</td> <td>CVER</td> <td>WSA</td> <td>ABE/JOR</td> </tr> </tbody> </table>	REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/APROBADO	0C	Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4	14/10/2016	KHA	WAS	ABE/JOR	0B	Actualización según comentarios	27/09/2016	ASC	CLU	ABE/JOR	0A	Primera Edición	02/08/2016	CVER	WSA	ABE/JOR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000 Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4 : Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 15 N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3315	REV.: 0C
	REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/APROBADO																							
	0C	Supresión de las estaciones Marty, Calle 19 y Calle 3-4	14/10/2016	KHA	WAS	ABE/JOR																							
0B	Actualización según comentarios	27/09/2016	ASC	CLU	ABE/JOR																								
0A	Primera Edición	02/08/2016	CVER	WSA	ABE/JOR																								

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



P.K.	COTA CARRIL	COTA TERRENO	GEOMETRIA HORIZONTAL	GEOMETRIA VERTICAL	DIFERENCIA COTA CARRIL COTA TERRENO	REVISION			FASE DE PROYECTO			PROYECTO		
						OC	OB	OA	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/APROBADO	FECHA	TITULO
2507.23	2508.39	2507.23			-0.06									
2508.00	2508.84	2508.00			-0.28									
2508.67	2509.24	2508.67			-0.23									
2509.34	2509.30	2509.34			+0.04									
2510.01	2509.30	2509.30			-0.37									
2510.68	2509.30	2509.30			-0.34									
2511.35	2509.30	2509.30			-0.37									
2512.02	2509.30	2509.30			-0.24									
2512.69	2509.30	2509.30			-0.22									
2513.36	2509.30	2509.30			-0.36									
2514.03	2509.30	2509.30			-0.78									
2514.70	2509.30	2509.30			-0.85									
2515.37	2509.30	2509.30			-0.89									
2516.04	2509.30	2509.30			-0.85									
2516.71	2509.30	2509.30			-0.85									
2517.38	2509.30	2509.30			-0.70									
2518.05	2509.30	2509.30			-0.71									
2518.72	2509.30	2509.30			-0.74									
2519.39	2509.30	2509.30			-0.30									
2520.06	2509.30	2509.30			-0.21									
2520.73	2509.30	2509.30			-0.72									
2521.40	2509.30	2509.30			-0.85									
2522.07	2509.30	2509.30			-0.82									
2522.74	2509.30	2509.30			-0.38									
2523.41	2509.30	2509.30			-0.38									
2524.08	2509.30	2509.30			-0.62									
2524.75	2509.30	2509.30			+1.43									
2525.42	2509.30	2509.30			+1.18									
2526.09	2509.30	2509.30			+2.30									
2526.76	2509.30	2509.30			+3.27									
2527.43	2509.30	2509.30			+3.81									
2528.10	2509.30	2509.30			+3.76									
2528.77	2509.30	2509.30			+3.33									
2529.44	2509.30	2509.30			+3.87									
2530.11	2509.30	2509.30			+4.84									
2530.78	2509.30	2509.30			+5.43									
2531.45	2509.30	2509.30			+6.02									
2532.12	2509.30	2509.30			+7.13									
2532.79	2509.30	2509.30			+7.62									

NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de suelo y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son dados para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes. Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WCS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concordantes se dan a título informativo. Se indican con el estylo "3DS" para external Stakeholder (Participante Interés Externo).
La lista de referencias externas se dan a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

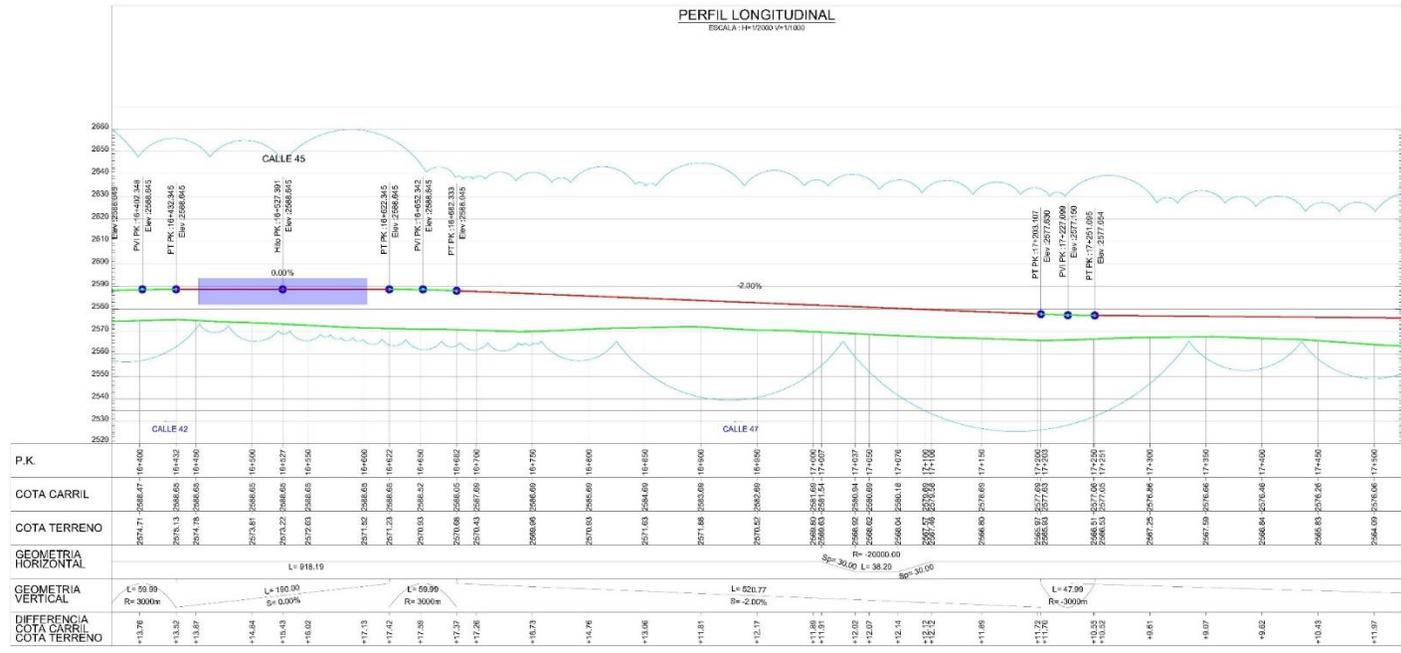
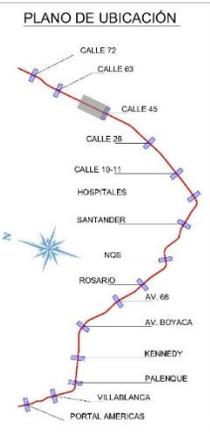
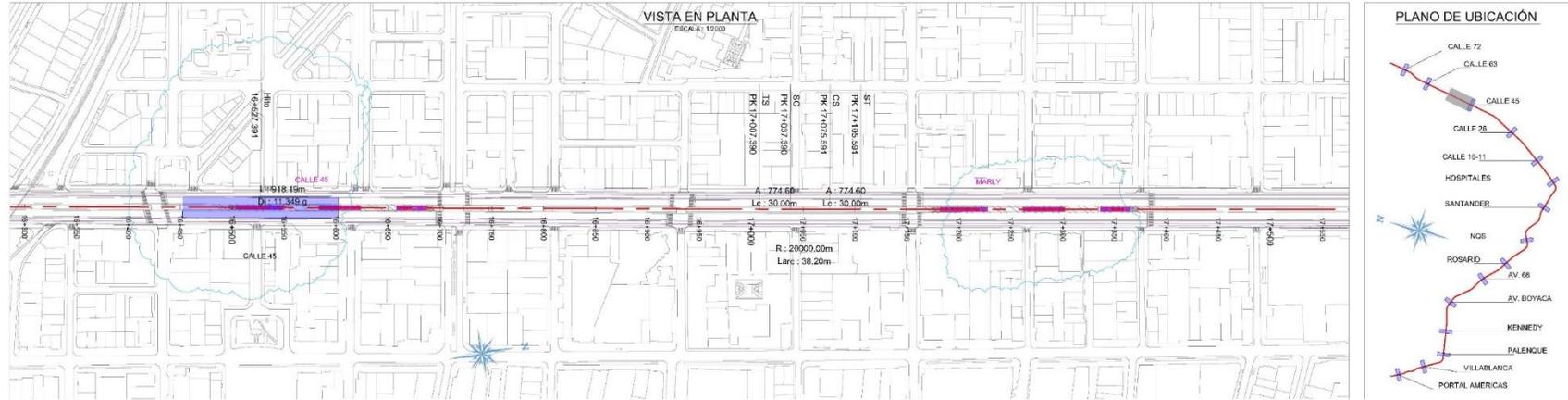
DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-EST-2100
Informe de Estudios ref. PLMB-SYS-DOC-EST-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARG-2300 y 2300 serie.

ABREVIACIONES:
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) FCB = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De trazo en recta a circulo
A = Constante de circulo ST = De circulo a trazo en recta
L = Longitud de circulo
R = Radio (metros)
Larc = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

PERFIL:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
L = Longitud de circulo
R = Radio (metros)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyecto concordantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depresiones existentes
Estación 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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del FK, los niveles de riel y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores.
La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes.
Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NNM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la abreviatura "XSH" para external Stakeholder (Participante Interés Externo).
La lista de referencias externas (en) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado del PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones del PLMB-SYS-DOC-EST-2100
Planos de Estaciones del PLMB-SYS-PLA-ARG-2200 y 2300 serie

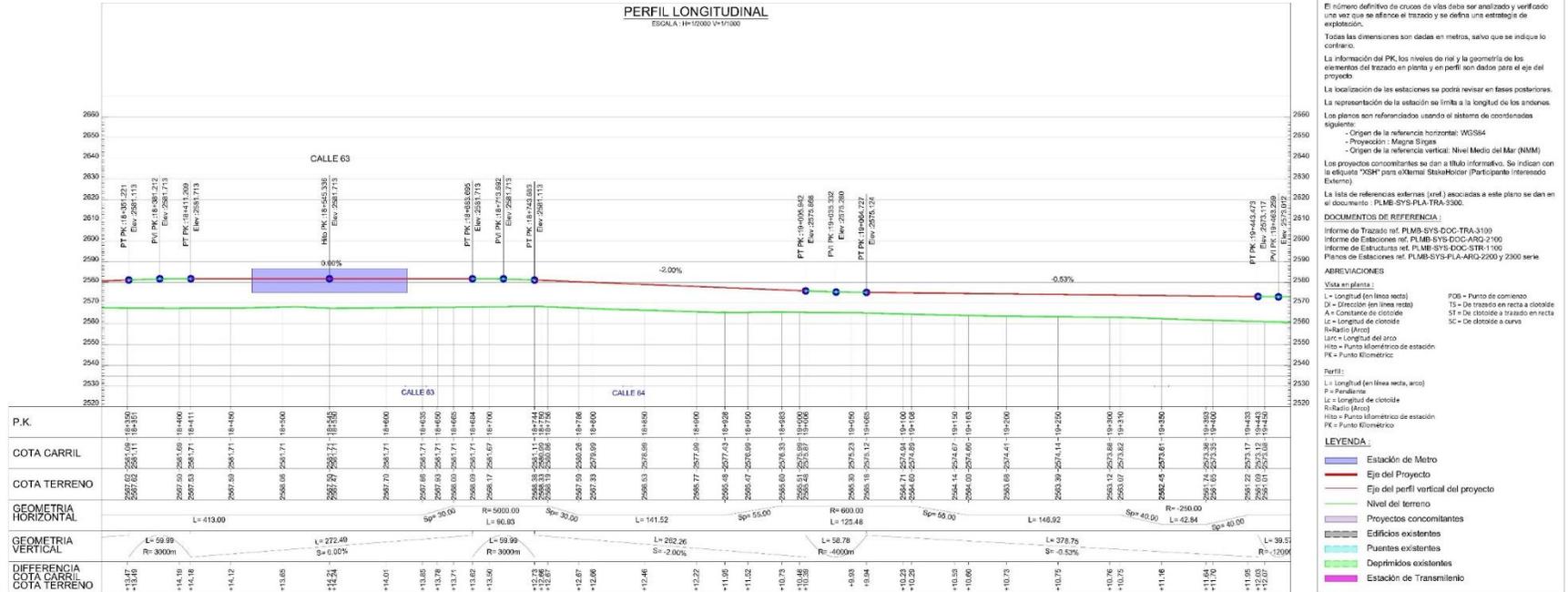
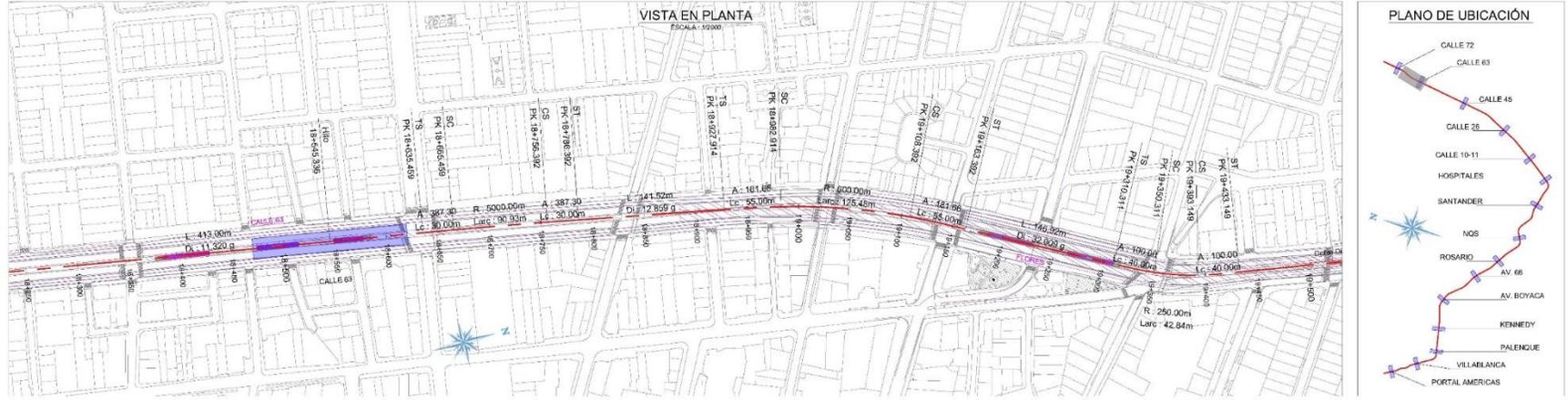
ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta)
D = Dirección (en línea recta)
A = Constante de abscisa
Lc = Longitud de cicloide
Rabiado (Arco)
Larc = Longitud del arco
Vto = Punto simétrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA

- Estación de Metro
- Eje del Proyecto
- Eje del perfil vertical del proyecto
- Nivel del terreno
- Proyectos concomitantes
- Edificios existentes
- Puentes existentes
- Depósitos existentes
- Estación de Transmisión

	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 1 40 18 61 05 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	REVISIÓN OC Supresión de las estaciones Mary, Calle 19 y Calle 3-4 08 Actualización según comentarios 0A Primera Edición	DESCRIPCIÓN Diseño Conceptual	FECHA REALIZADO: 14/10/2016 VERIFICADO: 27/09/2016 VALIDADO/APROBADO: 02/08/2016	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4 : Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 17	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3317	REV.: 0C	
	Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.								
	Este plano es propiedad de 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



NOTA:
El elemento definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se avance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de tal y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son dados para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes. Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NMM)
Los proyectos concomitantes se dan a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSH" para «Xtremal Stakeholder» (Participante interesado Externo).
La lista de referencias externas (ref) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3300.
DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARG-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARG-2200 y 2300 serie

ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) FOG = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De trazado en recta a circular
A = Constante de curvatura R = Radio (Arco) ST = De circular a trazado en recta
Lc = Longitud de cordón B+R = De circular a curva
Lar = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cordón
R = Radio (Arco)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto Kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmisor

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA	REALIZADO	VERIFICADO	VALIDADO/APROBADO
01	Supresión de las estaciones Mary, Calle 19 y Cella 3-4	14/10/2016	RNA	WAS	ASE/JOR
02	Actualización según comentarios	27/09/2016	ASC	CLU	ASE/JOR
03	Primera Edición	02/08/2016	CVER	WSA	ASE/JOR

FASE DE PROYECTO:
Diseño Conceptual

FECHA:
02/08/2016

FORMATO:
A1

ESCALA:
1/2000

Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.

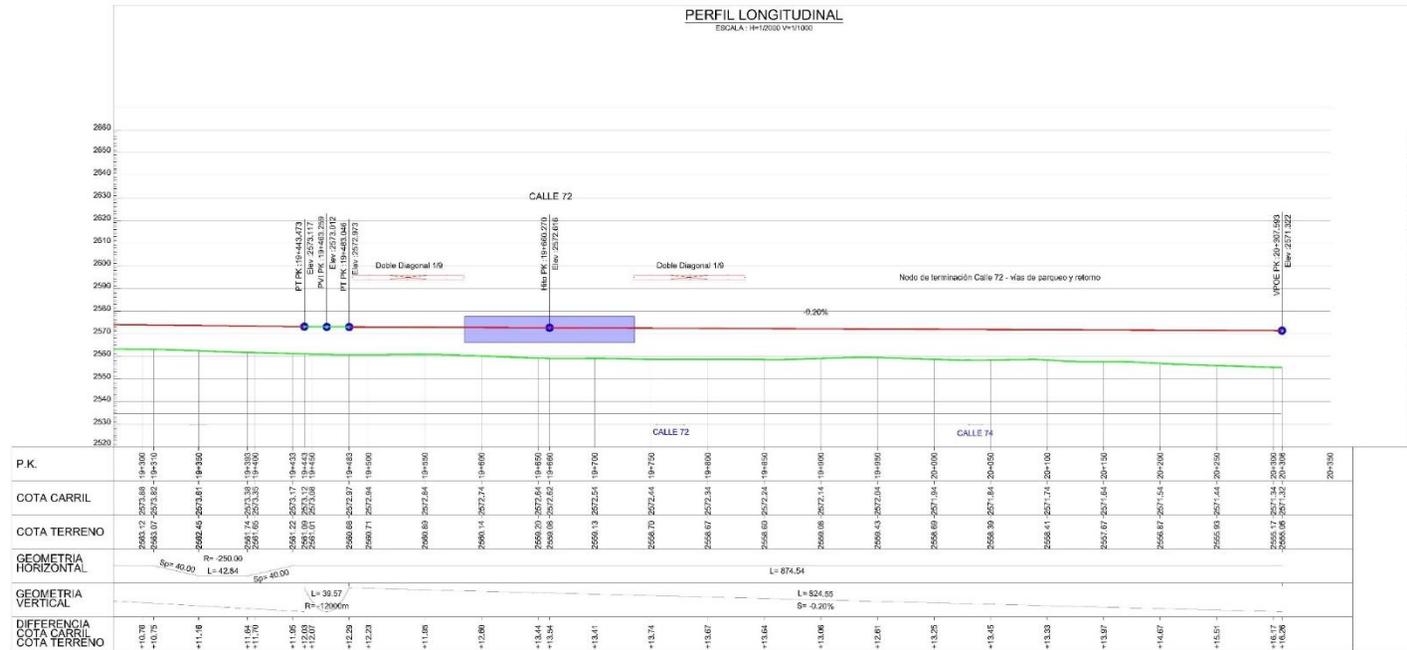
PROYECTO:
Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada

TÍTULO:
Diseño de Trazado:
Planta y perfil longitudinal
Página 19

N° de PLANO:
PLMB-SYS-PLA-TRA-3319

REV.:
0C

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



NOTA:
El número definitivo de cruces de vías debe ser analizado y verificado una vez que se afiance el trazado y se defina una estrategia de explotación.
Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo que se indique lo contrario.
La información del PK, los niveles de ras y la geometría de los elementos del trazado en planta y en perfil son datos para el eje del proyecto.
La localización de las estaciones se podrá revisar en fases posteriores. La representación de la estación se limita a la longitud de los andenes. Los planos son referenciados usando el sistema de coordenadas siguiente:
- Origen de la referencia horizontal: WGS84
- Proyección: Magna Sirgas
- Origen de la referencia vertical: Nivel Medio del Mar (NMM)
Los proyectos concomitantes se den a título informativo. Se indican con la etiqueta "XSIF" para eXternal Stakeholder (Participante Interesado Externo).
La lista de referencias externas (ref) asociadas a este plano se dan en el documento: PLMB-SYS-PLA-TRA-3309

DOCUMENTOS DE REFERENCIA:
Informe de Trazado ref. PLMB-SYS-DOC-TRA-3100
Informe de Estaciones ref. PLMB-SYS-DOC-ARO-2100
Informe de Estructuras ref. PLMB-SYS-DOC-STR-1100
Planos de Estaciones ref. PLMB-SYS-PLA-ARO-2200 y 2300 serie

ABREVIACIONES
Vista en planta:
L = Longitud (en línea recta) PKB = Punto de comienzo
D = Dirección (en línea recta) TS = De trazado en recta a circunferencia
A = Constante de cotas S1 = De cota a trazado en recta
Lc = Longitud de cota SC = De cota a curva
R = Radio (Arco)
L = Longitud del arco
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

Perfil:
L = Longitud (en línea recta, arco)
P = Pendiente
Lc = Longitud de cota
R = Radio (Arco)
Hito = Punto kilométrico de estación
PK = Punto kilométrico

LEYENDA:
Estación de Metro
Eje del Proyecto
Eje del perfil vertical del proyecto
Nivel del terreno
Proyectos concomitantes
Edificios existentes
Puentes existentes
Depósitos existentes
Estación de Transmisor

	CONSULTOR: SYSTRA 72-74 Rue Henry Farman 75015 Paris TEL: 33 1 40 16 61 00 MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	REVISIÓN OC Supresión de las estaciones María, Calle 19 y Calle 3-4 EB Actualización según comentarios 6A Primera Edición	DESCRIPCIÓN MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	FECHA 14/02/2016 27/09/2016 02/08/2016	REALIZADO KHA ASC CVER	VERIFICADO WAS CLU WSA	VALIDADO/APROBADO ABEJOR ABEJOR	FASE DE PROYECTO: Diseño Conceptual FECHA: 02/08/2016 FORMATO: A1 ESCALA: 1/2000	PROYECTO: Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías para la PLMB. Entregable N° 4: Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada TÍTULO: Diseño de Trazado: Planta y perfil longitudinal Página 20	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3320	REV.: 0C
	Este plan es propiedad de SYSTRA	FDN Financiera de Desarrollo Nacional	idu Instituto de Desarrollo Urbano	MAGNA-SIRGAS / MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone	14/02/2016 27/09/2016 02/08/2016	KHA ASC CVER	WAS CLU WSA	ABEJOR ABEJOR	Las escalas dadas en el plano son para un formato A1. Para un formato A3 la escala debería dividirse por 2.	N° de PLANO: PLMB-SYS-PLA-TRA-3320	REV. 0C

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 Estimaciones de los costos de inversión de la Canasta “C” Calle 72

Indicadores por componente de inversión para la PLMB hasta la Calle 72 (COP 2016)

Cifras en Millones				
COMPONENTE	UNIDAD	OBSERVACIONES	INDICADOR PROPUESTO	
			Valor unitario (COP)	Valor unitario (USD)
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO				
OBRA CIVIL LÍNEA				
<i>TBM</i>	KM	Ejecución del túnel incluyendo la adquisición de las TBM	\$ 119 700	\$ 38,0
<i>Trincheras con pantallas</i>	KM	Ejecución del túnel en trincheras con pantallas (excavaciones, ejecución de las pantallas, placa de cubierta, etc)	\$ 189 484	\$ 60,2
<i>Viaducto elevado (Norte)</i>	KM	Ejecución del viaducto que incluye: excavaciones, cimentaciones (pilotes), ejecución de pilas y tablero.	\$ 100 800	\$ 32,0
<i>Viaducto elevado (Sur)</i>	KM		\$ 78 750	\$ 25,0
SISTEMA FERROVIARIO	KM	Incluye los siguientes capítulos: Puesto Central de Control, Alimentación eléctrica, Señalización, Sistema de comunicación, superestructura de vía y puertas de andén	\$ 44 100	\$ 14,0
MATERIAL RODANTE	TREN	Valor de cada tren	\$ 39 375	\$ 12,5
ESTACIONES	UN	Promedio del costo de una estación		
<i>Trincheras con pantallas</i>	UN	Indicador del proyecto base	\$ 153 167	\$ 48,6
<i>Elevadas</i>	UN	Indicador basado en el precio del m2 de centro comercial	\$ 50 400	\$ 16,0
TALLERES Y COCHERAS	TREN	Construcción de los talleres y cocheras en función del número de trenes	\$ 8 190	\$ 2,6
URBANISMO Y PAISAJISMO	KM	Esto incluye: Espacio público (andenes), Carriles mixtos (2 por sentido y pavimento flexible), Paisajismo, Puentes peatonales, Puentes vehiculares	\$ 12 600	\$ 4,0
OBRAS CIVILES ADICIONALES	KM	Comprende lo siguiente: Obras de estructuras afectadas y reubicación de redes de servicios públicos	\$ 11 025	\$ 3,5
A.I.U.	% sobre Costo Directo	Administración, impuestos y utilidades	25%	
OTROS COSTOS				
ESTUDIOS Y DISEÑOS	% Costo de obra	El indicador propuesto incluye diseños de detalle técnicos, financieros y legales y asistencias técnicas en fase de licitación y operación.	4,0%	
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	% Costo de obra	Incluye manejo ambiental del corredor y social	2,5%	
DESVÍOS Y MANEJO DE TRÁFICO	% Costo de obra		4,0%	
PREDIOS Y LEGALIZACIÓN	M2	Costo calculado con	Costo estimado	
ASISTENCIA TÉCNICA EN FASE DE LICITACIÓN DISEÑO Y OBRA	% Costo de obra			
INTERVENTORÍA FASE DE OBRA	% Costo de obra		5,0%	
AUSCULTACIÓN (MANTENIMIENTO)	KM			
ASISTENCIA TÉCNICA A OPERACIÓN	% Costo de obra			
RAMAL TÉCNICO (COSTO DIRECTO)	KM	Consiste en la ejecución del ramal técnico, incluyendo obra civil, sistema ferroviario, urbanismo y obras civiles adicionales	\$ 146 475	\$ 46,5
NODO DE TERMINACIÓN (COSTO DIRECTO)	KM	Consiste en la ejecución del nodo de terminación incluyendo obra civil, sistema ferroviario, urbanismo y obras civiles adicionales	\$ 146 476	\$ 46,5

Tabla 26 - Anexo: Indicadores de costos unitarios para análisis de la canasta escogida para la PLMB a pesos de 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

Matriz de inversión para la PLMB hasta la Calle 72

ITEM	UNIDAD	CANASTA C - CALLE 72		
		Cantidad	Valor (COP)	Valor (USD)
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO				
OBRA CIVIL LÍNEA (incluye ramal técnico y nodo)	KM	17,2	1 508 665	478,94
SISTEMA FERROVIARIO	KM	19,5	858 981	272,69
MATERIAL RODANTE	UN	25,0	984 375	312,50
ESTACIONES	UN	15,0	756 000	240,00
TALLERES Y COCHERAS	UN	54,0	442 260	140,40
URBANISMO Y PAISAJISMO	KM	19,5	245 423	77,91
OBRAS CIVILES ADICIONALES (Redes y estructuras varias)	KM	19,5	214 745	68,17
RAMAL TÉCNICO	KM	5,0	732 375	232,50
NODO DE TERMINACIÓN (COLA DE MANIOBRAS)	KM	0,6	87 885	27,90
ADICIONAL ESTACIONES INTEGRACIÓN TM	GL		167 040	53,03
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS			5 997 750	1 904,05
A.I.U.		25%	1 499 438	476,01
TOTAL CONSTRUCCIÓN Y SUMINISTRO			7 497 188	2 380,06
OTROS COSTOS				
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	%	2,5%	187 430	59,50
DESVÍOS Y MANEJO DE TRÁFICO	%	4,0%	299 888	95,20
PREDIOS Y LEGALIZACIÓN	GL		458 221	145,47
ESTUDIOS, DISEÑOS Y ASISTENCIAS TÉCNICAS	%	4,0%	299 888	95,20
INTERVENTORÍA FASE DE OBRA	%	5,0%	374 859	119,00
SUBTOTAL OTROS COSTOS			1 620 286	514,38
GRAN TOTAL			9 117 473	2 894,44
RECONFIGURACIÓN AV. CARACAS	GL		541 976	172,06
ADECUACIÓN AV. VILLAVICENCIO	GL		75 000	23,81
TRONCAL AV. 68	GL		1 603 358	509,00
TRONCAL AV. BOYACÁ	GL		785 706	249,43
TRONCAL AV. CIUDAD DE CALI	GL		836 585	265,58
TOTAL CANASTA C	GL		12 960 099	4 114,32

Cifras en millones de pesos

Tabla 27 - Anexo: Matriz de inversión para la PLMB hasta la Calle 72 a pesos de 2016 (Fuente: SYSTRA)

Nota: El valor de adquisición de predios toma en cuenta la reducción a 15 estaciones.

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

Estimación costo de troncales alimentadoras para Canasta Calle 72

TRONCALES	Longitud con metro (Km)	Longitud sin metro (Km)	Costo/km (IDU)	Costo con metro	Costo sin metro	COSTO TOTAL
Caracas sin metro (Heroes a Molinos)*	15,4		80 784			1 242 461
Caracas sin metro (Calle 1 a Molinos)*	6,3		80 784			509 748
Caracas con Metro (Calle 1 a Heroes)*	9,0		53 343			480 126
PLMB hasta Calle 72**	8,21	0,79		438 032	63 748	501 780
AV. 68 (Autosur a Cra7)*	16,93					1 621 923
Desde AutoSur hasta Suba**	13,74		94 179			1 294 015
Desde Suba hasta Cra7**	3,19		102 954			327 908
Boyacá sin AU (Yomasa a 170)*	35,1		84 758			2 972 462
Desde AutoSur hasta CL26**	9,27		84 758			785 706
Av. Ciudad de Cali (Av. Bosa a Calle 170)*	28,3		114 757			3 247 619
Desde Av Bosa hasta Portal Américas**	7,29		114 757			836 577
AVENIDA VILLAVICENCIO**	2,5		30 000			75 000

Tabla 28 - Anexo: Estimación costo de troncales alimentadoras para Canasta Calle 72 a pesos de 2016 (Fuente: IDU)

* Costo de la troncal para el total de su longitud proyectada (valor de referencia)

** Costo de la troncal para la longitud considerada en la canasta (valor tomado en la estimación)

NOTA: Costos estimados de acuerdo con la información remitida por el IDU