

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 7,
Estimación de Cronograma y Presupuesto**

PLMB-SYS-DOC-TOD-0700-0C

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	Estimación de cronograma y presupuesto – Versión Final
Fecha	22/11/2016
Nombre del archivo	PLMB-SYS-DOC-TOD-0700-0C-v4
Revisión	Rev.0
Privacidad	Entrega
Lengua	Español
Número de páginas	38

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	30/09/2016	Primera edición
0B	26/10/2016	Primera edición
0C	22/11/2016	Primera edición

CONTROL

Versión 0A		
Autor :	Hervé MAZZONI Azouz BENNOUI Iñaki CATALAN Natalia LAURENS	29/09/2016
Verificado por :	Joaquin ORTIZ	29/09/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	29/09/2016
Versión 0B		
Autor :	Azouz BENNOUI Iñaki CATALAN Natalia LAURENS	20/10/2016
Verificado por :	Joaquin ORTIZ	26/10/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	26/10/2016
Versión 0C		
Autor :	Azouz BENNOUI Carmen LUCAS Iñaki CATALAN Natalia LAURENS	17/11/2016
Verificado por :	Azouz BENNOUI	22/11/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	22/11/2016

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

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	7
1.1	LOS TRAMOS DE EJECUCIÓN DE LA PLMB	7
1.2	OBJETIVO GENERAL PARA LA PREVISIÓN DEL CRONOGRAMA DE OBRAS PARA EL TRAMO 1	8
1.2.1	PARA LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ (PLMB)	8
1.2.2	PARA LAS CANASTAS DE TRONCALES ALIMENTADORAS A LA PLMB	9
1.3	HIPÓTESIS CONSIDERADAS	9
2.	DESARROLLO DEL PLAN DE OBRA PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB	13
2.1	ESCENARIO 1: LA TOTALIDAD DEL TRAMO 1 DE LA LÍNEA SE CONSTRUYE EN UNA SOLA FASE	13
2.2	ESCENARIO 2: EL TRAMO 1 DE LA LÍNEA SE CONSTRUYE EN DOS FASES	16
2.3	ESCENARIO 3: EL TRAMO 1 DE LA LÍNEA SE CONSTRUYE EN DOS FASES DE MANERA PARALELA	19
2.4	COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS PLANTEADOS PARA EJECUCIÓN DEL TRAMO 1	21
2.5	CRONOGRAMA GENERAL DE LAS OBRAS DEL TRAMO 1 DE LA PLMB Y LA CANASTA C DE TRONCALES	22
3.	PREVISION DE CRONOGRAMA PARA EL TRAMO 2 DE LA PLMB	24
4.	ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB	26
4.1	CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO 1 DE LA PLMB Y LA CANASTA DE LA PLMB TRONCALES ALIMENTADORAS	26
4.2	COSTOS DE INVERSIÓN PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB Y CANASTA DE LA PLMB MÁS TRONCALES ALIMENTADORAS	27
4.2.1	COSTOS PARA LA INVERSIÓN DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ	28
4.2.2	COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TRONCALES ALIMENTADORAS	29
4.3	CON OTROS RECURSOS DE FINANCIACIÓN	29
4.4	DISTRIBUCIÓN DE LA INVERSIÓN EN EL PERÍODO DE EJECUCIÓN DE LA PLMB Y TRONCALES	30
5.	CRITERIOS GENERALES PARA LA ADQUISICIÓN PREDIAL POR TRAZADO Y ESTACIONES PARA LA CANASTA SELECCIONADA	32
6.	ANEXO	34
6.1	ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN DE LA CANASTA SELECCIONADA CALLE 72	34

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 -	COMPARACION DE LOS TRES ESCENARIOS DE CONSTRUCCION (FUENTE: SYSTRA)	21
TABLA 2 -	LONGITUD TRONCALES ALIMENTADORAS (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP).....	26
TABLA 3 -	CARACTERISTICAS DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA)	26
TABLA 4 -	COSTOS DE INVERSION DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA)	28
TABLA 5 -	COSTOS DE INVERSION TRONCALES ALIMENTADORAS A PARTIR DE DATOS DEL IDU (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	29
TABLA 6 -	COSTOS TOTALES DE INVERSION (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	29
TABLA 7 -	DISTRIBUCION DE LA INVERSION EN EL PERIODO DE EJECUCION (FUENTE: SYSTRA).....	31
TABLA 8 -	IDENTIFICACION PREDIAL A PARTIR DE INFORMACION DEL IDU (FUENTE: IDUSYSTRA-SIGMA GP. 32	
TABLA 9 -	ANEXO: INDICADORES DE COSTOS UNITARIOS PARA ANALISIS DE LA CANASTA ESCOGIDA PARA LA PLMB A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA)	34
TABLA 10 -	ANEXO: ESTIMACION DEL COSTO DE INTERVENCION EN ESTACIONES DE INTEGRACION METRO-BRT SEGUN TIPO DE INTEGRACION A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA)	35
TABLA 11 -	ANEXO: MATRIZ DE INVERSION PARA LA PLMB HASTA LA CALLE 72 A PESOS DE 2016 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP).....	36
TABLA 12 -	ANEXO: COSTOS DESGLOSADOS DE LAS TRONCALES DE TRANSMILENIO INCLUIDOS EN LA CANASTA C CALLE 72 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	37
TABLA 13 -	ANEXO: ESTIMACION COSTO DE TRONCALES ALIMENTADORAS PARA CANASTA C CALLE 72 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP).....	38
TABLA 14 -	ANEXO: ESTIMACION COSTO TOTAL PARA CANASTA C CALLE 72 (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP) ..	38

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: TRAMOS 1 Y 2 DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA)	8
FIGURA 2: VIADUCTO ESTÁNDAR DE 35 M DE VANO (FUENTE: SYSTRA)	10
FIGURA 3: VIADUCTO NO ESTÁNDAR – 2 VANOS CONTINUOS L-L (FUENTE: SYSTRA)	10
FIGURA 4: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, INSTALACIÓN DE SISTEMAS FERROVIARIOS Y ENSAYOS PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB SEGÚN ESCENARIO DE UNA FASE (FUENTE: SYSTRA)	15
FIGURA 5: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, INSTALACIÓN DE SISTEMAS FERROVIARIOS Y ENSAYOS PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB SEGÚN ESCENARIO DE DOS FASES CONSECUTIVAS (FUENTE: SYSTRA)	18
FIGURA 6: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, INSTALACIÓN DE SISTEMAS FERROVIARIOS Y ENSAYOS PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB SEGÚN ESCENARIO DE DOS FASES PARALELAS (FUENTE: SYSTRA)	20
FIGURA 7: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO 1 DE LA PLMB Y DE LA CANASTA DE TRONCALES DE TRANSMILENIO (FUENTE: SYSTRA-SIGMA GP)	23
FIGURA 8: CRONOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES, INSTALACIÓN DE SISTEMAS FERROVIARIOS Y ENSAYOS PARA EL TRAMO 2 DE LA PLMB (FUENTE: SYSTRA)	25
FIGURA 9: PROYECTOS DE INVERSIÓN PARA LA CANASTA CON NODO DE TERMINACIÓN EN CALLE 72 (FUENTE: SDM)	27

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

El presente informe corresponde a los entregables finales de la Actividad 6, “Estimación de Cronograma y Presupuesto para la PLMB”.

En esta actividad se definen los tramos y las fases en las que se construirá la PLMB y los componentes de cada fase de acuerdo con los análisis realizados en los entregables anteriores. También se define el plazo de cada fase según análisis de varios escenarios.

Específicamente se identifican:

- Definición de dos tramos de implantación para la PLMB para de esta manera realizar la implantación del tramo prioritario en el corto plazo
- Definición de un cronograma general de ejecución por fases para el Tramo 1
- Definición de un cronograma general para el Tramo 2
- Presupuesto preliminar para el Tramo 1 y plan de inversiones por año de actividad en la construcción.

La identificación del Tramo 1, prioritario para la implantación de la PLMB, se realizó durante la Actividad 4, Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original, en donde se compararon varias opciones de “canastas” de inversiones que incluyen no solamente la línea de metro como tal, sino un conjunto de troncales alimentadoras.

La canasta seleccionada es la Canasta C Calle 72 después de haber analizado y evaluado para cada de las cinco opciones de terminación estudiados (nodos de la Calle 26, Calle 63, Calle 72, Calle 100 y Calle 127) los criterios de calidad del servicio de transporte de cada canasta, el desempeño del sistema de transporte público, el impacto urbano de la terminación de la línea en cada nodo y la conectividad de la línea en cada uno de ellos.

Finalmente en la Actividad 4, la Canasta C Calle 72 una línea de metro elevada más un conjunto de tres nuevas troncales de TransMilenio, fue evaluada desde el punto de vista socioeconómico para determinar su rentabilidad social frente a una alternativa de línea subterránea hasta el nodo de la Calle 100, la cual había sido el proyecto aprobado por la anterior Administración Distrital en conjunto con el Gobierno Nacional. Los resultados demostraron que la Canasta C Calle 72 tiene una rentabilidad sólida con una TIR de 14,6% y una relación Beneficio/Costo de 1,79.

1.1 Los tramos de ejecución de la PLMB

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.

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

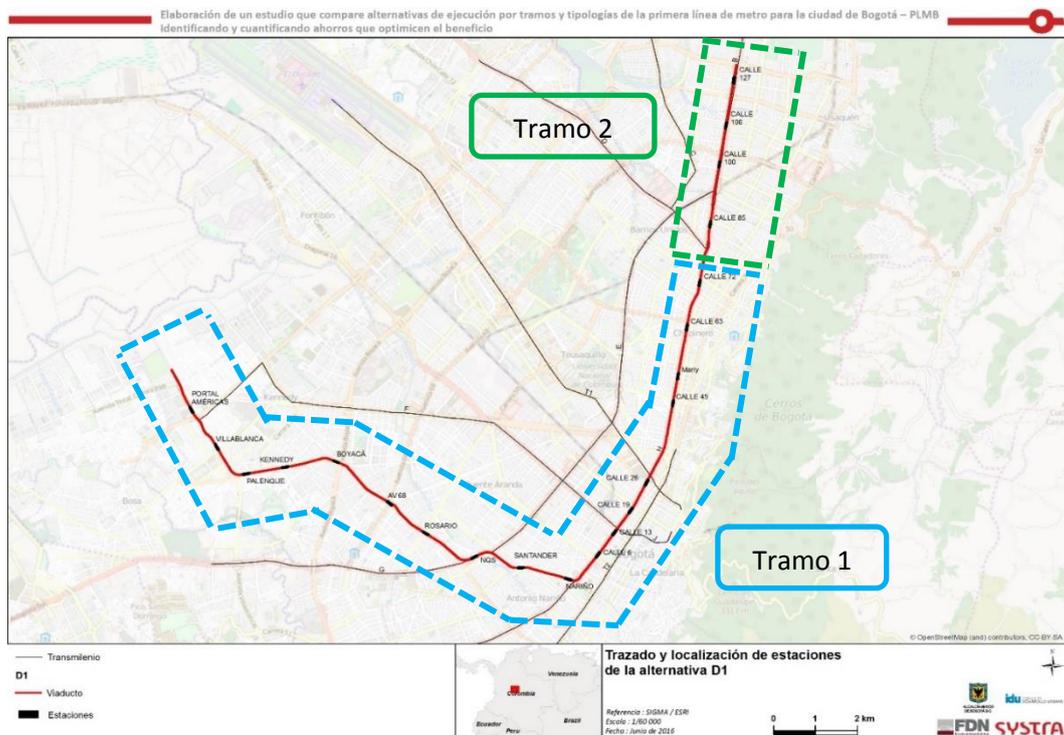


Figura 1: Tramos 1 y 2 de la PLMB (Fuente: SYSTRA)

1.2 Objetivo general para la previsión del cronograma de obras para el Tramo 1

1.2.1 Para la Primera Línea de Metro de Bogotá (PLMB)

Comparar la duración total de la obra de la PLMB (infraestructura + sistemas) considerando tres escenarios y recomendación de uno de ellos:

- Toda la línea (vías principales + ramales técnicos = 25,1 km) se construyen de una vez;
- La construcción de la línea se divide en dos fases, la segunda consecutiva a la primera:
 - Desde el patio-taller antes del inicio de la línea (Portal de las Américas), hasta Estación Calle 26 (longitud $5,0 + 14,5 = 19,5$ km)
 - Desde estación Calle 26 hasta estación Calle 72 + vías de parqueo (longitud $5,0 + 0,6 = 5,6$ km)
- La construcción de la línea se divide en dos fases pero la fase 2 comienza a los 16 meses de haber comenzado la fase 1:
 - Desde el patio-taller antes del inicio de la línea (Portal de las Américas), hasta Estación Calle 26 (longitud $5,0 + 14,65 = 19,5$ km)
 - Desde estación Calle 26 hasta estación Calle 72 + vías de parqueo (longitud $5,0 + 0,6 = 5,6$ km)

El motivo principal para considerar las dos fases para la construcción de la PLMB, es la previsión del cierre parcial al tráfico en general a lo largo de la Avenida Caracas durante la duración de los trabajos. Para minimizar este impacto se ha considerado la posibilidad de distribuir parcialmente los viajes de los usuarios de la troncal Caracas hacia la nueva troncal de la Carrera Séptima (sobre todo para el

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

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 de desvíos de tráfico o cierre provisional de tramos (trabajos preparatorios) deberán ser confirmadas en la fase de estructuración técnica, legal y financiera del proyecto.

1.2.2 Para las Canastas de troncales alimentadoras a la PLMB

Establecer la duración total de las obras de tres nuevas troncales alimentadoras a la PLMB (que se encuentran dentro del presupuesto estimado) además de la reconfiguración de las troncales Caracas y Villavicencio por la implantación de las obras de viaducto en su área de influencia.

Las tres nuevas troncales alimentadoras son:

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

Adicionalmente se establece el objetivo de conocer la ^determinar la duración de las obras de la troncal Carrera Séptima para correlacionar su terminación con el inicio de la fase 2 del Tramo 1 de la PLMB (viaducto sobre la Av. Caracas a partir de la Calle 26 hasta la Calle 76) y de esta manera mitigar el impacto vial y en la operación del BRT de la troncal Caracas por la construcción del viaducto.

1.3 Hipótesis consideradas

Para la estimación del tiempo de construcción de la obra civil y el de instalación del sistema ferroviario se han considerado las siguientes hipótesis generales:

Definición de segmentos para la estructura viaducto elevado en gran "U":

- Viaducto estándar
El viaducto estándar se compone de una viga única en forma de "U" con un ancho entre las almas laterales capaz de alojar las dos vías del metro.
 - L = 35 m en segmentos tipo en recta o curva $R > 300$ m
 - L = 30 m en segmentos en curva $R < 300$ m
 - L = 15 m en segmentos de estación

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

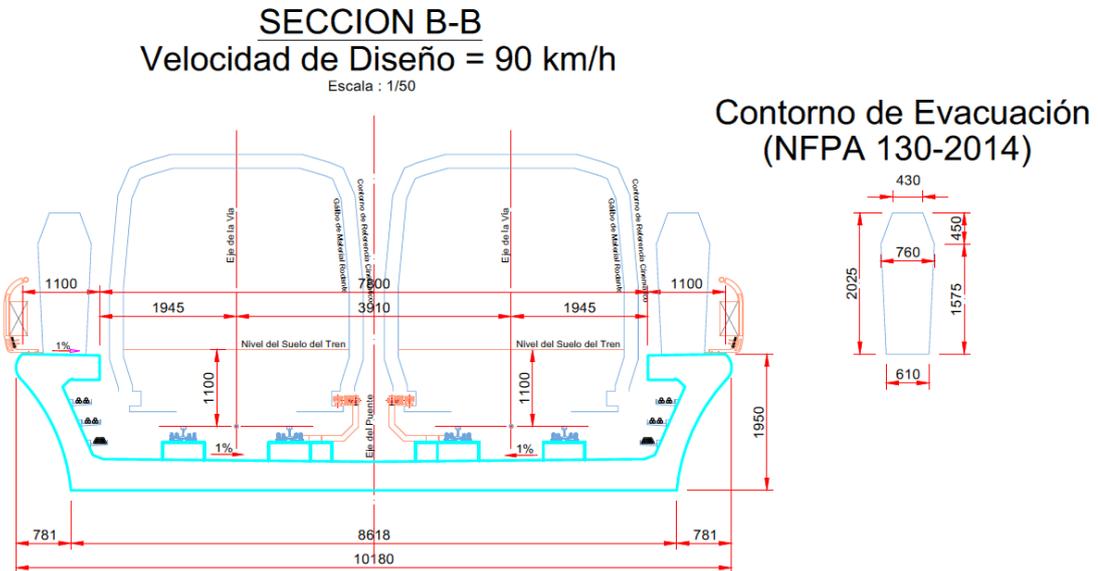


Figura 2: Viaducto estándar de 35 m de vano (Fuente: SYSTRA)

- Viaducto no-estándar
 - El viaducto no-estándar, al igual que el viaducto estándar, se compone de una viga única de tipo "U". Se trata de una viga con 2 vanos continuos. El hiperestatismo de la viga nos permite mantener la misma sección del viaducto estándar para vanos entre 35m y 45m.
 - L = 36+36 m a 45+45 m en módulos continuos de 2 vanos
 - Viaducto gran "U" atraviesa las estaciones elevadas como un elemento integral

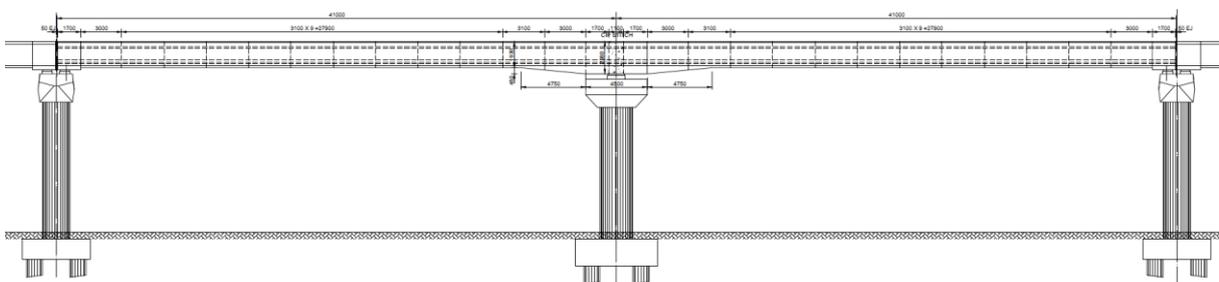


Figura 3: Viaducto no estándar – 2 vanos continuos L-L (Fuente: SYSTRA)

Para los procedimientos constructivos:

(*) Los valores de rendimiento dados a continuación son fruto de la experiencia del diseñador en obras similares.

- Subestructura:
 - Se ejecuta in-situ (fundaciones, pila y capitel)
 - Rendimientos:
 - 6 días por fundación (barretes + dado)

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

- 7 días para columna y capitel
- Tablero
 - De tipo segmental a base de dovelas prefabricadas en parque de prefabricación
 - Montaje vano a vano mediante viga lanzadora
 - Rendimientos:
 - 5 días por segmento de viaducto $L > 35$ m
 - 4 días por segmento de viaducto de 30 y 35 m
 - 3 días por segmento de estación de 15 m
- Trazado:
 - Tramo 1 de la PLMB hasta Calle 72
 - 100% elevado, longitud total = 25,1 km
 - Longitud línea (entre estaciones terminales) = 19,5 km
 - Segmentos corrientes = 17,25 km
 - Segmentos estación = 2,25 km (15 estaciones)
 - Ramales técnicos hasta patio-taller al inicio de línea = 5,0 km
 - Vías de parqueo tras estación Calle 72 = 0,6 km

Parque de prefabricación

El parque de prefabricación estará compuesto para los tres escenarios por las diferentes líneas de producción para la fabricación de dovelas del viaducto en “U”, por las zonas de acopio, y por instalaciones auxiliares como la central de concreto, el taller de preparación de ferralla, las oficinas y otros locales técnicos, y un parking. En el escenario 1, si solo se prevé un parque de prefabricación, la superficie sería de unas 11 ha, si se decide tener 2 parques para acortar los tiempos de transporte la superficie de cada parque sería de unas 7ha, ya que habría que duplicar las instalaciones fijas.

En el escenario 2, el Tramo 1 se construye en 2 fases lo que reduce el área total del parque de prefabricación al dilatarse la duración de la obra y por tanto ser menores los recursos constructivos a considerar. El área máxima del parque se determina para el máximo volumen de elementos a producir y a almacenar para la realización del tramo más importante de las 2 fases, siendo aproximadamente un 80% de la superficie y medios requeridos para el parque del escenario 1.

Por último, el escenario 3 presentaría una superficie de parque similar al escenario 1 debido a que la duración de la obra civil es prácticamente la misma y que en el pico de actividad se tendrá un número equivalente de frentes de ataque del tablero.

Hipótesis generales tomadas para el desarrollo del plan de obra:

(*) Los valores indicados a continuación son fruto de la experiencia del diseñador en obras similares.

- Se trabaja a 1 turno diario;
- Un mes cuenta con 22 días laborables;
- Trabajos preparatorios (adquisición predial, parque prefabricación, suministro moldes y vigas lanzadoras, traslado de redes, gestión de permisos administrativos...): 24 meses;
- Adjudicación del contrato de construcción al final del primer año (2017);
- Diseño para construcción: 12 meses;
- Las pilas se comienzan a construir en el mes 11 del primer año tras adjudicación del contrato de construcción. Estos 10 meses permiten básicamente dar holgura a la realización del diseño de la subestructura y la preparación del terreno (desviación de redes, etc.);

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

- Las vigas lanzadoras comienzan a montar el tablero segmental 6 meses después de comenzar la construcción de pilas. El tiempo previo a la construcción del tablero se utilizará para la fabricación y montaje de las vigas lanzadoras y para la fabricación de dovelas en el parque;
- Las dovelas deben permanecer acopiadas 2 meses en el parque de prefabricación antes de su transporte a obra;
- Se tardan 12 meses en construir una estación elevada, de los cuales 6 como mínimo son tras el paso de la viga lanzadora;
- La instalación de vía comienza como mínimo 6 meses después del inicio del montaje de los segmentos de viaducto.

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. DESARROLLO DEL PLAN DE OBRA PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB

Como se ha descrito en el objetivo general de esta actividad, se consideran tres escenarios de construcción, los cuales son comparados para finalmente obtener una recomendación de estrategia constructiva.

Los escenarios son los siguientes:

- Escenario 1: La totalidad del Tramo 1 (de patio taller a calle 76) se construye en una sola fase.
- Escenario 2: El Tramo 1 se realiza en dos fases:
 - Fase 1: de Patio taller a Calle 26
 - Fase 2: de Calle 26 a Calle 76
- Escenario 3: El Tramo 1 se realiza en dos fases que son parcialmente simultáneas:
 - Fase 1: de Patio taller a Calle 26
 - Fase 2: de Calle 26 a Calle 76

En los tres escenarios presentados, la realización del Tramo 2, de la Calle 76 a la Calle 127, se construirá en una etapa subsiguiente a la propuesta en este estudio.

2.1 Escenario 1: la totalidad del Tramo 1 de la línea se construye en una sola fase

Se consideran las siguientes hipótesis específicas basadas en la gran experiencia del diseñador en obras similares:

Definición por segmentos del viaducto elevado en línea completa:

- Viaducto estándar
 - Segmentos en estación $L=15\text{ m} \rightarrow 2\ 250/15 = 150$ vanos de 15 m
 - Segmentos corrientes rectos $L=35\text{ m} \rightarrow 19\ 650/35 = 562$ vanos de 35 m
 - Segmentos curvos $R<300\text{ m } L=30\text{ m} \rightarrow 1\ 800/30 = 60$ vanos de 30 m
- Viaducto no-estándar:
 - 21 módulos continuos de 2 vanos $L = 36+36\text{ m a } 45+45\text{ m} \rightarrow 1,6\text{ km} = 42$ vanos
- Pilas:
 - Total = 815

Equipos:

- Construcción de pilas y fundaciones: 8 equipos
 - $815\text{ pilas} \times 7\text{ días/pila} \times 1/8\text{ equipos} = 713\text{ días} = 33\text{ meses}$
- Parque de prefabricación de dovelas: 11 bancos largos + 2 bancos cortos (13 moldes para dovelas de pila + 24 moldes para dovelas estándar)
 - Tiempo de fabricación total de dovelas = 28 meses
- Montaje de tableros: 5 vigas lanzadoras
 - $(622\text{ vanos } L=30/35\text{m} \times 4\text{ días/vano} + 150\text{ vanos } L=15\text{m} \times 3\text{ días/vano} + 42\text{ vanos módulos continuos} \times 5\text{ días/vano}) \times 1/5\text{ vigas lanzadoras} = 637\text{ días} = 29\text{ meses}$
- Estaciones elevadas: 6 equipos
 - $15\text{ estaciones} \times 12\text{ meses/estación} \times 1/6\text{ equipos} = 30\text{ meses}$

La puesta en servicio de la línea será 5 años y 2 meses luego de la adjudicación del contrato. La duración total de la obra en Bogotá es de 42 meses (3 años y 6 meses).

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

La siguiente figura presenta el cronograma establecido para este escenario.

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

2.2 Escenario 2: el Tramo 1 de la línea se construye en dos fases

Se consideran las siguientes hipótesis específicas basadas en la gran experiencia del diseñador en obras similares:

Definición por fases para el viaducto elevado desde patio-taller hasta estación Calle 26:

- Viaducto estándar
 - Segmentos en estación $L=15\text{ m} \rightarrow 1\ 800/15 = 120$ vanos de 15 m
 - Segmentos corrientes rectos $L=35\text{ m} \rightarrow 15\ 305/35 = 437$ vanos de 35 m
 - Segmentos curvos $R<300\text{ m } L=30\text{ m} \rightarrow 1\ 225/30 = 41$ vanos de 30 m
- Viaducto no-estándar
 - 16 módulos continuos de 2 vanos $L = 36+36\text{ m a } 45+45\text{ m} \rightarrow 1,27\text{ km} = 32$ vanos
- Pilas
 - Total = 631

Equipos para fase Patio-Talleres-Estación Calle 26:

- Construcción de pilas y fundaciones: 7 equipos
 - $637\text{ pilas} \times 7\text{ días/pila} \times 1/7\text{ equipos} = 631\text{ días} = 28,7\text{ meses} \sim 29\text{ meses}$
- Parque de prefabricación de dovelas: 9 bancos largos + 1 banco corto (10 moldes para dovelas de pila + 19 moldes para dovelas estándar)
 - Tiempo de fabricación total de dovelas = 29 meses
- Montaje de tableros: 4 vigas lanzadoras
 - $(478\text{ vanos } L=30/35\text{m} \times 4\text{ días/vano} + 120\text{ vanos } L=15\text{m} \times 3\text{ días/vano} + 32\text{ vanos módulos continuos} \times 5\text{ días/vano}) \times 1/4\text{ vigas lanzadoras} = 608\text{ días} = 27,7\text{ meses} \sim 28\text{ meses}$
- Estaciones elevadas: 5 equipos
 - $12\text{ estaciones} \times 12\text{ meses/estación} \times 1/5\text{ equipos} = 29\text{ meses}$

Definición por fases para el viaducto elevado entre Estación Calle 26-Estación Calle 72:

- Viaducto estándar
 - Segmentos en estación $L=15\text{ m} \rightarrow 450/15 = 30$ vanos de 15 m
 - Segmentos corrientes rectos $L=35\text{ m} \rightarrow 4\ 345/35 = 124$ vanos de 35 m
 - Segmentos curvos $R<300\text{ m } L=30\text{ m} \rightarrow 575/30 = 19$ vanos de 30 m
- Viaducto no-estándar
 - 5 módulos continuos de 2 vanos $L = 36+36\text{ m a } 45+45\text{ m} \rightarrow 0,34\text{ km} = 10$ vanos
- Pilas
 - Total = 183

Equipos para fase Estación Calle 26-Estación Calle 72:

- Construcción de pilas y fundaciones: 5 equipos
 - $183\text{ pilas} \times 7\text{ días/pila} \times 1/5\text{ equipos} = 258\text{ días} = 11,7\text{ meses} \sim 12\text{ meses}$
- Parque de prefabricación de dovelas: 8 bancos largos + 1 banco corto (9 moldes para dovelas de pila + 17 moldes para dovelas estándar)
 - Tiempo de fabricación total de dovelas = 10 meses
- Montaje de tableros: 3 vigas lanzadoras

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

- (143 vanos L=30/35m x 4 días/vano + 30 vanos L=15m x 3 días/vano + 10 vanos módulos continuos x 5 días/vano) x1/3 vigas lanzadoras = 237 días = 10,8 meses ~11 meses
- Estaciones elevadas: 4 equipos
 - 3 estaciones x 12 meses/estación x1/3 equipos = 12 meses

Puesta en servicio de la línea 6 años y 6 meses luego de la adjudicación del contrato (incluyendo un año adicional para el proyecto de ingeniería de detalle del constructor). La duración total de la obra civil en Bogotá será de 57 meses (4 años y 9 meses).

La siguiente figura presenta el cronograma establecido para este escenario.

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

2.3 Escenario 3: el Tramo 1 de la línea se construye en dos fases de manera paralela

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, el cual es una combinación de los dos escenarios de construcción presentados precedentemente, es decir:

- 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
- 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

La fase 2 tendría un inicio a los 16 meses de iniciada la fase 1, de esta manera la duración total de los trabajos sería similar a la del escenario 1 de construcción.

Equipos:

Dado que la tramificación del escenario 3 es idéntica a la del escenario 2 al considerar ambos las mismas fases de construcción del Tramo 1 de la línea, los equipos necesarios para llevar a cabo cada una de las fases son los mismos que en el escenario 2, con la diferencia de que al ejecutarse simultáneamente será necesario disponer la suma de ambas.

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.

La duración total de la obra civil en Bogotá será de 40 meses (3 años y 4 meses). 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

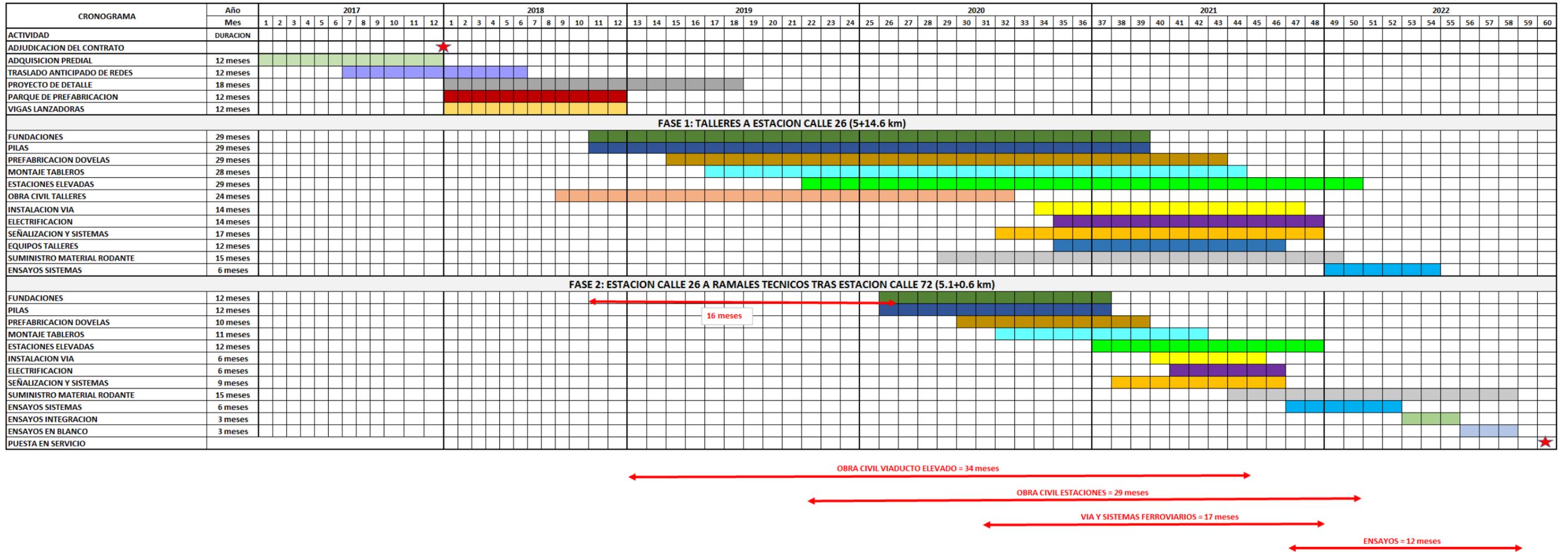


Figura 6: Cronograma de construcción de obras civiles, instalación de sistemas ferroviarios y ensayos para el Tramo 1 de la PLMB según escenario de dos fases paralelas (Fuente: SYSTRA)

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

2.4 Comparación de los escenarios planteados para ejecución del Tramo 1

Aun cuando la construcción de la obra civil más la instalación del sistema ferroviario es un año más corta en el escenario en donde se considera una sola fase de construcción, el escenario de dos fases mitiga parcialmente el impacto que se tendrá que manejar en la operación de la Troncal Caracas y en el tráfico en general, ya que algunos carriles de la avenida tendrán que ser cerrados parcialmente durante la ejecución de los trabajos del viaducto y de las estaciones.

El parque de prefabricación estará compuesto para los tres escenarios por las diferentes líneas de producción para la fabricación de dovelas del viaducto en “U”, por las zonas de acopio, y por instalaciones auxiliares como la central de concreto, el taller de preparación de ferralla, las oficinas y otros locales técnicos y un parking. En el escenario 1, si solo se prevé un parque de prefabricación, la superficie sería de unas 11 ha, si se decide tener 2 parques para acortar los tiempos de transporte la superficie de cada parque sería de unas 7 ha, ya que habría que duplicar las instalaciones fijas.

En el escenario 2, el Tramo 1 se construye en 2 fases lo que reduce el área total del parque de prefabricación al dilatarse la duración de la obra y por tanto ser menores los recursos constructivos a considerar. El área máxima del parque se determina para el máximo volumen de elementos a producir y a almacenar para la realización del tramo más importante de las 2 fases, siendo aproximadamente un 80% de la superficie y medios requeridos para el parque del escenario 1.

Por último, el escenario 3 presentaría una superficie de parque similar al escenario 1 debido a que la duración de la obra civil es prácticamente la misma y que en el pico de actividad se tendrá un número equivalente de frentes de ataque del tablero.

La siguiente tabla presenta la comparación de las necesidades de equipos en la ejecución de las obras; son menores cuando se realiza en dos fases.

Criterio de comparación	Construcción en 1 Fase	Construcción en 2 Fases (una después de la otra)	Construcción en 2 Fases (una desfasada de la otra)
Plan de obra			
Puesta en servicio	2023 5 años y 2 meses (*)	2024 6 años y 6 meses (*)	2023 5 años
Duración obra en Bogotá	3 años y 6 meses (*)	4 años y 9 meses (*)	3 años y 6 meses
Equipos necesarios			
<i>Subestructura</i>	8	7	12
Parque prefabricación	11 bancos largos + 12 bancos cortos	9 bancos largos + 1 banco corto	11 bancos largos + 12 bancos cortos
Vigas lanzadoras	5	4	7
Frentes estaciones elevadas	6	5	8

Tabla 1 - Comparación de los tres escenarios de construcción (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

Por tanto, la recomendación para la ejecución del Tramo 1 va en el sentido de prever dos fases de construcción. La fase inamovible es la del tramo entre el patio-taller y la estación Calle 26 porque de ella depende la posibilidad de recibir los trenes que van siendo suministrados por el fabricante. La fase 2 dependerá de los progresos realizados por la ciudad en la implantación de la troncal Carrera Séptima.

2.5 Cronograma general de las obras del Tramo 1 de la PLMB y la Canasta C de troncales TM

La previsión del cronograma de construcción del proyecto del Tramo 1 de la PLMB toma en cuenta, en una primera instancia, el escenario constructivo con dos fases:

1. Desde el patio-taller (a ± 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.

Las obras civiles y la instalación, pruebas y ensayos de los sistemas ferroviarios tendrán una duración aproximada de 5,6 años después de adjudicado el proyecto. Este período contempla:

- 12 meses de proyecto de detalle y trabajos preparatorios
- 51 meses de la obra civil del viaducto
- 46 meses de la obra civil de las estaciones
- 26 meses para instalación de la vía y sistemas ferroviarios y suministro de material rodante
- 6 meses de pruebas y ensayos en el primer sub-tramo y de 12 meses sobre el conjunto del Tramo 1

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.

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 (incluyendo el deprimido previsto) 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 (con cola de maniobra de retorno).

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

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

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.

Igualmente se la etapa de estructuración técnica del conjunto de implantaciones se deberán analizar estrategias de construcción por segmentos de las troncales para mitigar los impactos de cada una de ellas.

A continuación se presenta el cronograma que contempla la construcción de la PLMB y la construcción de las troncales previstas en la Canasta C Calle 72.

Item	Año Semestre	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	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 Compra de predios															
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 Compra de predios															
2.1.3 Licitación y construcción tramo CII 26-72															
2.1.4 Licitación y construcción tramo CII 72-170															
2.2 Caracas de Calle 1 a Yomasa															
2.2.1 Licitación y diseños															
2.2.2 Compra de predios															
2.2.3 Licitación y construcción															
2.3 Avenida 68 (Autopista Sur a Carrera 7)															
2.3.1 Licitación y diseños															
2.3.2 Compra de predios															
2.3.3 Licitación y construcción															
2.4 Avenida Boyacá (Autopista Sur a Calle 26)															
2.4.1 Licitación y diseños															
2.4.2 Compra de predios															
2.4.3 Licitación y construcción															
2.5 Avenida Ciudad de Cali (Av. Bosa a Portal Américas)															
2.5.1 Licitación y diseños															
2.5.2 Compra de predios															
2.5.3 Licitación y construcción															

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

Figura 7: 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

3. PREVISION DE CRONOGRAMA PARA EL TRAMO 2 DE LA PLMB

En la actualidad, no se tienen previsiones en cuanto a la financiación del Tramo 2 de la PLMB. Sin embargo, se plantean ciertas hipótesis para prever la construcción de este segundo tramo antes del horizonte del 2030:

- Una vez puesto en marcha en 2023 el Tramo 1 de la PLMB con un servicio comercial entre la estación Portal Américas y estación Calle 72, la administración Distrital y el Gobierno Nacional pueden prever la prolongación de la línea hasta la estación Calle 127
- La construcción del patio-taller debe ser completa para proveer la capacidad final prevista de 54 trenes, antes de emprender la construcción de la prolongación de la línea con su Tramo 2. Para lograr este objetivo, en la estimación de presupuesto para el Tramo 1 presentada en el siguiente capítulo se prevé la inversión de la totalidad del patio-taller para justamente poder prolongar la línea hasta la Calle 127
- Es necesario realizar un proceso de negociación con la Alcaldía de Bogotá y las autoridades que mantienen el monumento a Los Héroes porque será necesario prever su relocalización.
- El Tramo 2 de la PLMB no contempla adquisición predial por cuanto todo su desarrollo (línea y estaciones) se realiza sobre el espacio público de la AutoNorte.

La figura presentada a continuación presenta el cronograma para los 4,9 km del Tramo 2 de la PLMB.

En términos generales, los trabajos de obras civiles más instalación del sistema ferroviario y ensayos tiene una duración de 34 meses.

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. ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO PARA EL TRAMO 1 DE LA PLMB

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.

4.1 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.¹

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 2 - Longitud troncales alimentadoras (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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	25 trenes
Capacidad patio	54 trenes

Tabla 3 - 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.

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

4.2 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.

La fuente de los indicadores de costos fue, para el caso de la reconfiguración de la troncal Caracas y Av. Villavicencio y de las nuevas troncales alimentadoras, la suministrada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y, para el caso de la PLMB, el análisis de lo presupuestado en el Contrato 849 de 2013 desarrollado por el Consorcio L1 de esta manera:

- Sistema ferroviario: actualización de costos de inversión a 2016 mediante la actualización de la inflación externa para el componente extranjero y validación de estos costos según la experiencia mundial de SYSTRA
- Material rodante: según las características de gálibo y composición del tren, SYSTRA provee un costo que es el observado en los procesos de procura de este componente en los proyectos internacionales donde ha participado la empresa.
- Infraestructura de viaducto: se realizó un análisis cuantitativo de cantidades de obra según predimensionamiento estructural y con precios practicado en Colombia y, en todo caso, teniendo como referencia proyectos internacionales similares
- Estaciones elevadas: se realizó un estudio comparativo a nivel internacional sobre las características y metraje de estaciones elevadas aplicando los costos de construcción practicados en Bogotá según ejemplos de centros comerciales complejos.

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

4.2.1 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 \$616 976 millones de pesos 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 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	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	364 859
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
SUBTOTAL RECONFIGURACION DE TRONCALES SOBRE CORREDOR PLMB (incluyen AIU)	616 976
TOTAL PRIMERA LINEA METRO DE BOGOTA (PLMB)	9 734 450

* Ver Tabla N° 10 del Anexo

Tabla 4 - Costos de inversión de la PLMB (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

4.2.2 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 5 - Costos de inversión troncales alimentadoras a partir de datos del IDU (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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 6 - Costos totales de inversión (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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.

4.3 Con otros recursos de financiación

Como parte del Plan de Desarrollo de la actual administración y como componente de la oferta de infraestructura, con la cual se han obtenido los resultados de la tabla 2, se prevé la construcción de la Troncal Carrera 7, desde la Calle 34 a la Calle 200, se tiene estimado un valor de \$1.880.576² millones de pesos para su construcción, rubro que se encuentra destinado con otros recursos de financiación diferentes a los definidos para la construcción de la PLMB. Esta troncal además es indispensable tenerla en operación, de la Calle 34 a la Calle 72 antes de iniciar la construcción del segmento de la línea del metro y respectiva reconfiguración de la troncal de la Caracas, entre la Calle 1 y la Calle 80.

² Fuente: IDU, 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

4.4 Distribución de la inversión en el período de ejecución de la PLMB y troncales

La siguiente tabla presenta la distribución del presupuesto de inversión para cada uno de sus componentes y para cada semestre del período de ejecución, tanto para la PLMB como las troncales que perteneces a la canasta C Calle 72.

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

Año Semestre	2017		2018		2019		2020		2021		2022	TOTAL	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1		
LINEA DE METRO													
Adquisición predial	229 111	229 111											458 221
Traslado anticipado redes estructuras		134 216	134 216										268 432
Manejo ambiental y social				23 429	23 429	23 429	23 429	23 429	23 429	23 429	23 429	23 429	187 430
Desvíos y manejo de trafico				37 486	37 486	37 486	37 486	37 486	37 486	37 486	37 486	37 486	299 888
Estudios, diseños y asistencias técnicas		49 981	49 981	49 981	49 981	49 981	49 981						299 888
Interventoría fase de obra				46 857	46 857	46 857	46 857	46 857	46 857	46 857	46 857	46 857	374 859
Adicional estaciones de integración TM					52 200	52 200	52 200	52 200					208 800
Urbanismo y paisajismo				38 347	38 347	38 347	38 347	38 347	38 347	38 347	38 347	38 347	306 779
Fase 1 obras civiles				385 616	385 616	385 616	385 616	385 616	385 616	385 616	385 616		2 699 310
Fase 2 obras civiles							289 212	289 212	289 212	289 212	289 212		1 156 847
Instalación sistema ferroviario - Sistema ferroviario								322 118	322 118	322 118			966 354
- Material rodante						184 570	184 570	184 570	184 570	184 570	184 570	184 570	1 107 422
- Patio-taller					99 509	99 509	99 509	99 509	99 509				497 543
Recepción y ensayos										142 851	142 851		285 702
Reconfiguración Caracas y Villavicencio					205 659	205 659	205 659						616 976
TRONCALES													
Avenida 68	4 404	61 753	63 822	90 592	345 697	345 697	345 697	345 697					1 603 358
Avenida Boyacá		11 615	41 493	40 705	176 366	171 843	171 843	171 843					785 706
Avenida Ciudad de Cali		72 053	759 88	111 449	192 365	192 365	192 365						836 585
TOTAL	233 515	558 729	365 500	824 462	1 653 511	1 833 558	2 122 770	1 996 883	1 427 144	1 470 486	473 541		12 960 099

Tabla 7 - Distribución de la inversión en el período de ejecución (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. CRITERIOS GENERALES PARA LA ADQUISICIÓN PREDIAL POR TRAZADO Y ESTACIONES PARA LA CANASTA SELECCIONADA

Para la construcción del viaducto de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), así como para sus estaciones, es necesaria la intervención de inmuebles que se encuentran ubicados en el área de intervención directa del proyecto.

La adquisición predial es un proceso fundamental del cual depende el éxito de la ejecución de un proyecto de infraestructura vial urbana. Este proceso, debe surtir una serie de etapas que involucran desde el levantamiento de todos los insumos para la adquisición, dentro de los cuales se pueden mencionar: levantamiento topográfico, censo de las unidades sociales, estudio de títulos y elaboración de avalúos, hasta el acompañamiento integral de las personas que se verán afectadas por la adquisición de sus predios.

Este proceso no solo requiere de recursos técnicos sino humanos para su desarrollo, por lo que es de primordial importancia, que el Distrito prevea de manera anticipada, la adquisición predial de los inmuebles que se requieren para la construcción y futuro funcionamiento de la PLMB.

Por lo anterior, se definen como parte del presente numeral, los criterios generales que se recomienda tener en cuenta por parte de las autoridades distritales, para la adquisición predial de la línea seleccionada.

Como parte del presente contrato de consultoría, se realizó la identificación de los predios necesarios para el desarrollo de la PLMB, metodología que se encuentra descrita como parte del Entregable 3. En la información entregada por el IDU a Systra y presentada en la siguiente tabla, se relacionan los inmuebles identificados en esta primera etapa del proyecto, requeridos para el funcionamiento de la PLMB.

	Total terreno [m2]	Total construcción [m2]	Número de predios
Trazado	1.217	11.206	4
Estaciones	103.173	295.533	928
Fachadas	66.773	40.312	349
Total	171.164	347.051	1.281

Tabla 8 - Identificación predial a partir de información del IDU (fuente: IDUSYSTRASIGMA GP)

Como se puede ver en la tabla anterior, la identificación de predios se realizó de manera diferenciada dependiendo de la afectación requerida así: por trazado (viaducto) y por estaciones, pero también, se identificaron aquellos predios que pudieran verse afectados por cercanía a las fachadas.

Los criterios generales que se recomienda considerar por parte del Distrito como parte de la etapa de planeación del proyecto en su componente de adquisición predial, se mencionan a continuación:

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 predios deben estar dentro de la zona de reserva vial otorgada para el proyecto por la Secretaría Distrital de Planeación.
- Realizar inicialmente el proceso de adquisición de aquellos predios que se encuentran afectados por el viaducto.
- Posteriormente, dar continuidad con las actividades de compra de inmuebles afectados por las estaciones.
- Para los predios afectados por las estaciones, debe ser evaluada la adquisición total o parcial de los predios aledaños a los requeridos para la PLMB, considerando la reconfiguración o el potencial de transformación urbana que se puede dar por ocasión del proyecto.
- A partir del levantamiento topográfico detallado del trazado, a realizar en la siguiente etapa de diseño del proyecto de la PLMB, se deben analizar en detalle aquellos inmuebles que su afectación no sea representativa. Por lo que sería necesario determinar la viabilidad de su adquisición o la revisión de las condiciones de alineamiento en el sector del predio involucrado.
- Estudiar de manera integral la adquisición parcial de predios para evitar los impactos arquitectónicos y visuales que alteren el contexto integral urbanístico de las áreas localizadas en el área de influencia de la PLMB.
- Evaluar los predios necesarios para la construcción del patio - taller.

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. ANEXO

6.1 Estimación de los costos de inversión de la Canasta seleccionada Calle 72

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

<i>Cifras en Millones</i>				
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				
<i>Trincheras con pantallas</i>	UN	Promedio del costo de una estación		
<i>Elevadas</i>	UN	Indicador del proyecto base	\$ 153 167	\$ 48,6
		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)				
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)				
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 9 - 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

ESTACIONES DE INTEGRACIÓN METRO-BRT	Tipo de integración	N° casos	Área para integración (m2) *	Costos COP/m2 **	Subtotal (MM COP)
Av. Boyacá, Portal Américas	Conexión lateral	2	600	3 750 000	4 500
Portal Américas, Av. 68, Calle 10-11, Calle 63 (área adicional por mayor demanda pasajeros)	Área adicional por mayor demanda	4	2 016	7 500 000	60 480
Calle 72	Área adicional por mayor demanda	1	2 688	7 500 000	20 160
Avenida 68	Estación de transferencia compleja	1	6 720	7 500 000	50 400
NQS, Calle 1, Calle 10-11, Calle 26, Calle 45, Calle 63, Calle 72	Conexión vertical	7	1 200	3 750 000	31 500
Total		15			167 040

Tabla 10 - Anexo: Estimación del costo de intervención en estaciones de integración Metro-BRT según tipo de integración a pesos de 2016 (Fuente: SYSTRA)

* Las áreas para integración fueron estimadas según la localización de la estación del metro en relación con la estación de TransMilenio y según la mayor demanda que se estima que algunas de esas estaciones van a tener en el largo plazo. Son áreas construidas como pasarelas y superficies para la circulación de usuarios que hacen la transferencia que son superiores a las comprendidas en las estaciones tipológicas.

** Los costos en pesos por metro cuadrado son obtenidos del indicador de costo de construcción de una estación elevada que se ha analizado en el Entregable 3 y se aplica según la complejidad de los elementos de integración

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	COP	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

Cifras en millones de pesos

Tabla 11 - Anexo: Matriz de inversión para la PLMB hasta la Calle 72 a pesos de 2016 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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

Costos desglosados de las troncales de TransMilenio incluidos en la Canasta C Calle 72

TRONCALES	LONGITUD (KM)	BRT	CARRILES MIXTOS	ESPACIO PUBLICO	ESTRUCTURAS	REDES	TOTAL OBRA	ESTUDIOS Y DISEÑOS	PREDIOS	TOTAL	COSTO / KM
Av. Caracas sin Metro (Calle 1 a Héroes)	10,5	380.972	80.033	85.045	47.224	154.179	747.453	5.600	12.392	765.446	72.900
Av. Caracas con Metro (Calle 1 a Héroes)	10,5	380.972			91.133	129.360	601.465	5.600	12.392	619.457	58.996
Av. 68 desde AutoSur hasta Suba	13,94	446.792	194.367	49.644	243.028	182.168	1.115.999	11.849	166.167	1.294.015	92.827
Av. 68 desde Suba hasta Cra7	3	74.023	41.829	10.684	104.812	39.204	270.552	2.550	35.760	308.862	102.954
Boyacá sin AU (Yomasa a 170)	32,5	930.173	451.095	129.064	474.834	424.710	2.409.876	27.625	317.133	2.754.634	84.758
Av. Ciudad de Cali (Av. Bosa a Calle 170)	28,3	920.024	392.800	257.745	299.906	369.824	2.240.299	24.055	983.293	3.247.647	114.758
Av. Villavicencio	2,5	15.500	28.000	8.000	12.000	10.500	74.000	1.000	0	75.000	30.000

Cifras en millones de pesos

Tabla 12 - Anexo: Costos desglosados de las troncales de TransMilenio incluidos en la Canasta C Calle 72 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

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

Estimación costo de troncales alimentadoras para la Canasta C Calle 72

RECONFIGURACIÓN AV. CARACAS	LONGITUD (km)	COSTO / KM	VALOR TOTAL (COP)
Av. Caracas sin Metro (Calle 1 a Héroes)	0,79	72.900	484.450
Av. Caracas con Metro (Calle 1 a Héroes)	8,21	58.996	57.526
TOTAL RECONFIGURACIÓN AV. CARACAS			541.976
ADECUACIÓN AV. VILLAVICENCIO	LONGITUD (km)	COSTO / KM	VALOR TOTAL (COP)
Av. Villavicencio	2,5	30.000	75.000
TRONCALES ALIMENTADORAS	LONGITUD (km)	COSTO / KM	VALOR TOTAL (COP)
Avenida 68			1.603.358
Desde AutoSur hasta Suba	13,74	92.827	1.275.450
Desde Suba hasta carrera 7	3,19	102.954	327.908
Avenida Boyacá (desde AutoSur hasta Calle 26)	9,27	84.758	785.706
Avenida Ciudad de Cali (desde Av. Bosa hasta Portal Américas)	7,29	114.758	836.585
TOTAL TRONCALES ALIMENTADORAS			3.225.649

Tabla 13 - Anexo: Estimación costo de troncales alimentadoras para Canasta C Calle 72 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

ÍTEM	VALOR COP
PLMB	9.117.473
Reconfiguración Av. Caracas y reconfiguración Av. Villavicencio	616.976
Troncales alimentadoras	3.225.649
TOTAL CANASTA C	12.960.099

Tabla 14 - Anexo: Estimación costo total para Canasta C Calle 72 (Fuente: SYSTRA-SIGMA GP)

NOTA: Cifras en millones de pesos