



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 6:

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

PLMB-SYS-DOC-TOD-0600-0B

21 de Noviembre del 2016



SYSTRA

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

INDICE

Cliente	Financiera de Desarrollo Nacional (FDN)
Proyecto	Estudio comparativo de alternativas de ejecución por tramos y tipologías de la primera línea de metro para la ciudad de Bogotá (PLMB), con identificación y cuantificación de ahorros que optimicen el beneficio
Tipo de documento	Análisis de la sostenibilidad financiera en la operación del desarrollo por tramos de la PLMB – Versión Final
Fecha	21/11/2016
Nombre del archivo	PLMB-SYS-DOC-TOD-0600-0B
Revisión	Rev. 0
Privacidad	Entrega
Lengua	Español
Número de páginas	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

EDICIÓN

Versión	FECHA	OBJETIVO
0A	03/10/2016	Primera edición
0B	04/11/2016	Primera edición
0B	21/11/2016	Segunda edición

CONTROL

VERSIÓN 0A

Autores :	Timothée COLLARD Heloise MICHEL Guillemette ZUBER	03/10/2016
Verificado por :	Boris ROWENCZYN	03/10/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	04/10/2016

VERSIÓN 0B

Autor :	Guillemette ZUBER	17/11/2016
Verificado por :	Boris ROWENCZYN	21/11/2016
Aprobado por:	Joaquín ORTIZ	04/11/2016 (primera edición) 21/11/2016 (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	7
1.1	OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD	7
1.2	CONTENIDO DEL INFORME	7
2.	DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA	8
2.1	PRINCIPIOS GENERALES DEL ANÁLISIS FINANCIERO	8
2.2	NIVEL DE DETALLES DEL ANÁLISIS E INDICADORES ESTUDIADOS	8
2.3	PERÍMETRO DEL ANÁLISIS FINANCIERO Y ESCENARIOS ESTUDIADOS	9
2.4	ELEMENTOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS	9
3.	HIPOTESIS PARA EL ANALISIS FINANCIERO	11
3.1	HIPÓTESIS GENERALES	11
3.1.1	CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	11
3.1.2	PERIODO DE ANÁLISIS	11
3.1.3	HIPÓTESIS SOBRE LA DEMANDA Y OFERTA DE TRANSPORTE	11
3.1.4	HIPÓTESIS MACROECONÓMICAS	11
3.1.5	COMPOSICIÓN DE LOS TRENES	12
3.2	HIPÓTESIS SOBRE LOS INGRESOS	12
3.2.1	PROYECCIÓN DE ABORDAJES	12
3.2.2	INGRESOS VINCULADOS A LA VENTA DE LOS BOLETOS	13
3.2.3	INGRESOS DE NEGOCIOS CONEXOS	14
3.3	HIPÓTESIS SOBRE LOS COSTOS	15
3.3.1	COSTOS DEPENDIENTES DE LOS VAGONES*KILÓMETROS	15
3.3.2	PROYECCIÓN DE OFERTA DE TRANSPORTE	16
3.3.3	OTROS COSTOS	16
4.	RESULTADOS - ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD FINANCIERA	18
4.1	RESULTADOS POR INDICADOR PARA UN NIVEL TARIFARIO COMBINADO DE 2 111 COP	18
4.1	ANÁLISIS DE VARIACIÓN DEL NIVEL TARIFARIO	18
4.1	RESULTADOS POR INDICADOR PARA UN NIVEL TARIFARIO COMBINADO DE 2 300 COP	22
4.2	CONCLUSIONES	26
5.	ANEXO 1: COSTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA METRO ELEVADO SEGÚN ESCENARIOS SIN Y CON CONDUCTORES	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

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 - HIPOTESIS SOBRE LA INFLACION EN COLOMBIA PARA EL PERIODO 2014-2021 - FUENTE: FMI	12
TABLA 2 - PRODUCCION DE TRENES.KM POR HORIZONTE – ELABORACION DE SYSTRA SEGUN SIMULACIONES DE LA SDM 2016	16
TABLA 3 - VIDA UTIL POR PARTIDA DE GASTO DE LA INFRAESTRUCTURA - ELABORACION: SYSTRA	17
TABLA 4 - COSTOS DE RENOVACION DISTRIBUIDO (ANUAL) EN MILLONES DE PESOS 2016 – ELABORACION: SYSTRA.....	17
TABLA 5 - INGRESOS Y COSTOS DETALLADOS PARA CADA ESCENARIO EN EL PERIODO DE ANALISIS – ELABORACION: SYSTRA	18
TABLA 6 - INGRESOS Y COSTOS DETALLADOS PARA CADA ESCENARIO EN UN AÑO PROMEDIO – ELABORACION: SYSTRA	22

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: CONCEPTO MODERNO DE AUTOMATIZACIÓN – ELABORACIÓN : SYSTRA.....	9
FIGURA 2 : EVOLUCIÓN ABORDAJES EN EL METRO DURANTE EL PERIODO DE ANÁLISIS – FUENTE : SDM; ELABORACIÓN : SYSTRA.	13
FIGURA 3: EVOLUCIÓN PRECIO COMBINADO DEL BOLETO DE METRO (SEGÚN LA INFLACIÓN) DURANTE EL PERIODO DE ANÁLISIS – ELABORACIÓN : SYSTRA	14
FIGURA 4. COSTOS DE EQUILIBRIO Y PRECIO DEL BOLETO PARA CADA ESCENARIO EN PESOS CORRIENTES (TARIFA COMBINADA DE 2 111 COP 2016). FUENTE: SYSTRA.....	19
FIGURA 5. COSTOS DE EQUILIBRIO Y PRECIO DEL BOLETO PARA CADA ESCENARIO EN PESOS CONSTANTES (TARIFA COMBINADA DE 2 111 COP 2016). FUENTE: SYSTRA.....	20
FIGURA 6. COSTOS DE EQUILIBRIO Y PRECIO DEL BOLETO PARA CADA ESCENARIO EN PESOS CORRIENTES (TARIFA COMBINADA DE 2 300 COP 2016). FUENTE: SYSTRA.....	21
FIGURA 7. COSTOS DE EQUILIBRIO Y PRECIO DEL BOLETO PARA CADA ESCENARIO EN PESOS CONSTANTES (TARIFA COMBINADA DE 2 300 COP 2016). FUENTE: SYSTRA.....	21
FIGURA 8: RATIO DE LOS INGRESOS SOBRE LOS COSTOS PARA CADA ESCENARIO CON BASE EN TARIFA COMBINADA DE 2 111 COP – ELABORACIÓN: SYSTRA.....	22
FIGURA 9: COSTO POR PASAJEROS PARA CADA ESCENARIO EN COMPARACIÓN CON EL PRECIO DEL BOLETO COMBINADO A 2 300 COP – ELABORACIÓN: SYSTRA.....	23
FIGURA 10: COSTO POR TREN*KILÓMETRO PARA CADA ESCENARIO – ELABORACIÓN: SYSTRA	24
FIGURA 11: COSTO POR VAGÓN*KILÓMETRO PARA CADA ESCENARIO EN PESOS Y DÓLARES CONSTANTES – ELABORACIÓN: SYSTRA	24
FIGURA 12: EXCEDENTE BRUTO DE EXPLOTACIÓN PARA CADA ESCENARIO – ELABORACIÓN: SYSTRA.....	25
FIGURA 13: IMPUESTOS PARA CADA ESCENARIO – ELABORACIÓN: SYSTRA.....	25

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

1. INTRODUCCION

1.1 Objetivos de la actividad

El presente informe se encuadra dentro de los entregables finales de la Actividad 5, “Análisis de la sostenibilidad financiera en la operación del desarrollo por tramos de la PLMB”.

El análisis de sostenibilidad financiera se elabora para la alternativa de construcción del Tramo 1 seleccionada en la Actividad 4, “Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original”, es decir una línea elevada entre la estación Portal Américas y la estación Calle 72.

El objetivo principal de este análisis es identificar la sostenibilidad financiera de la operación de la línea desde su apertura mediante la identificación del costo operacional por pasajero y la tarifa técnica que lo remunera.

Se ha supuesto que un operador-mantenedor privado se hará cargo de la explotación del sistema metro y puede ser diferente del operador de TransMilenio. Por esta razón, el análisis financiero se centra en las operaciones propias del sistema metro y no en las asociadas a la alimentación con las troncales de TransMilenio. Si el operador-mantenedor es un ente independiente, se debe asumir que los costos asociados a su explotación serán sostenibles en el tiempo, es decir que no requerirán de subsidios cruzados.

Por otro lado, se parte del supuesto que es el promotor y dueño del proyecto (Administración Distrital y Gobierno Nacional) los responsables por la inversión inicial de la infraestructura, del sistema ferroviario y del material rodante. En este contexto, el operador-mantenedor será responsable del mantenimiento y renovación del sistema ferroviario y del material rodante. En cuanto a la infraestructura, se ha considerado su depreciación de acuerdo a la vida útil pero este ítem bien pudiera no ser contabilizado si el promotor y dueño del proyecto asume la responsabilidad de las renovaciones de la infraestructura.

1.2 Contenido del informe

Este informe presenta en primer lugar los supuestos metodológicos considerados y los escenarios de análisis para la operación de la línea y que fueron discutidos en la Actividad Adicional, “Recomendaciones para el material rodante y los sistemas electromecánicos”:

- Metro automático con conductores
- Metro automático sin conductores

Posteriormente se presentan las hipótesis generales para el análisis y las hipótesis consideradas para la estimación de los ingresos y de los costos.

Finalmente se presentan los resultados de la sostenibilidad financiera según las hipótesis consideradas y finalmente un análisis de variación de la tarifa para encontrar el equilibrio entre los costos operacionales por pasajero y los ingresos derivados de la venta de boletos.

2. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA

2.1 Principios generales del análisis financiero

El “análisis financiero” se interesa en los costos y beneficios del proyecto para los actores económicos envueltos directamente en el montaje institucional-financiero del proyecto (el gestor público del proyecto, las empresas envueltas en la construcción, gestión y/o operación del sistema...). Su objetivo principal es determinar las condiciones con las cuales un determinado montaje institucional-financiero asegura la viabilidad financiera de estos actores y provee una rentabilidad financiera suficiente para permitir una participación del sector privado.

Por tanto, 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. Actualmente está contemplado que todas las inversiones iniciales serán asumidas por el sector público a través de compromisos de vigencias futuras, que serían aportadas a un convenio de cofinanciación suscrito entre Nación y Distrito, y gestionadas por la Empresa Metro de Bogotá, que será creada con este propósito. Para el presente ejercicio se ha hecho el supuesto de que la explotación del sistema será responsabilidad de un operador-mantenedor privado, el cual tendrá la responsabilidad de la explotación del sistema (operación, mantenimiento, formación del personal) y sus fuentes de ingresos serán principalmente derivados de la tarifa cobrada a los usuarios y de negocios conexos.

El supuesto que se ha hecho sobre la explotación del sistema por un operador-mantenedor privado, deberá ser validado en la etapa de estructuración técnica, legal y financiera del proyecto.

2.2 Nivel de detalles del análisis e indicadores estudiados

El análisis financiero presentado en el presente informe es simplificado. De hecho, el proyecto no está lo suficientemente avanzado para conocer los requisitos esenciales para permitir un análisis completo de sostenibilidad financiera.

Se estudia la sostenibilidad financiera según varios indicadores:

- El **ratio ingresos/costos**, es decir el indicador de los beneficios sobre los costos. Este indicador muestra el uso de los recursos. Si su valor es más grande que 1, el proyecto es rentable.
- El **costo por pasajero y el costo de equilibrio por pasajero**. Estos indicadores se comparan con el precio del boleto practicado por el sistema de transporte público de Bogotá (TransMilenio y SITP). Si se obtiene un ingreso a partir del pago del boleto más ingresos por negocios conexos al metro que sean más altos que la tarifa técnica (calculada según el costo operacional por pasajero), el proyecto genera beneficios. El costo de equilibrio es el precio del boleto que debe pagar cada pasajero para hacer un beneficio nulo.
- El **costo por tren.kilómetro y por vagón.kilómetro**.
- El **excedente bruto de explotación**, es decir la diferencia entre los beneficios y los costos. Si este indicador es positivo, el proyecto es rentable.

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 **impuestos** que son pagados por el operador-mantenedor al Estado.

2.3 Perímetro del análisis financiero y escenarios estudiados

El objetivo de este informe es la estimación de la sostenibilidad financiera en la operación del desarrollo por tramos de la PLMB. Por lo tanto y en contraste con el análisis de costos y beneficios, el análisis se centra sólo en la construcción del componente ferroviario del Proyecto Primera Línea de Metro de Bogotá sin las troncales alimentadoras de TransMilenio.

Se considera únicamente el escenario de metro elevado cuyo Tramo 1 finaliza en la estación Calle 72. Dos escenarios son estudiados:

- GoA2: automatizado, pero con conductores;
- GoA4: automatizado, sin conductores.

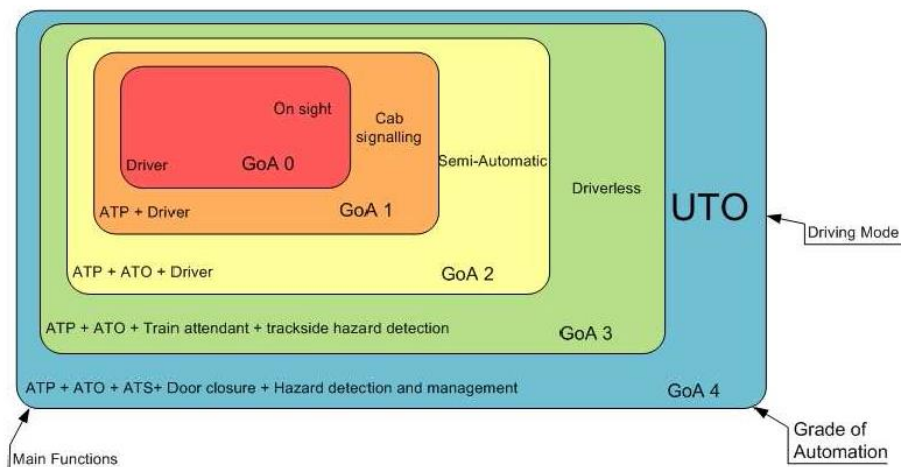


Figura 1: Concepto moderno de automatización – Elaboración : SYSTRA

2.4 Elementos considerados en el análisis

Se consideran los beneficios y los costos relativos a la primera línea de metro de Bogotá:

- Los ingresos o beneficios son:
 - Los ingresos vinculados a la venta de los boletos;
 - Los ingresos auxiliares, relacionados con los contratos de publicidad y otras actividades comerciales.
- Los costos son:
 - Los costos de operación;
 - Los costos de mantenimiento que son distribuidos en:
 - Costos de mantenimiento ordinario;

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 de mantenimiento pesado o costos de renovación.
Estos costos son considerados para la infraestructura y el material rodante.

Las hipótesis para el estimación de estos beneficios y costos son detalladas 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

3. HIPOTESIS PARA EL ANALISIS FINANCIERO

3.1 Hipótesis generales

3.1.1 Cronograma de implementación del proyecto

El año de puesta en servicio del Tramo 1 de la PLMB es 2023 para el escenario de línea elevada hasta la Calle 72. No hay diferencia para el año de puesta en servicio según el tipo de automatización del metro.

3.1.2 Periodo de análisis

El análisis financiero se lleva a cabo durante un período de 30 años de operación, como se recomienda para el análisis financiero en general.

3.1.3 Hipótesis sobre la demanda y oferta de transporte

Las simulaciones realizadas para la ciudad de Bogotá por la SDM ofrecen datos sobre la demanda y la oferta de transporte para todos los horizontes del proyecto, es decir 2020, 2030 y 2050.

Los datos que el análisis financiero utiliza son:

- Abordajes en metro
- Vagones.km en metro

En el análisis financiero, es necesario utilizar los datos de demanda en valores anuales, por tanto los datos obtenidos del proceso de modelación que corresponden a la hora pico representativa de la ciudad de Bogotá son llevados al día y luego al año utilizando el factor de 10 para el primer paso y 300 días regulares para el segundo paso.

Gracias a estos datos proporcionados por la SDM, se pueden reconstituir los tráficos en cada año del periodo de análisis.

3.1.4 Hipótesis macroeconómicas

3.1.4.1 Unidad monetaria

A diferencia de un análisis socioeconómico, el análisis financiero es realizado en pesos colombianos en valores corrientes, es decir que los flujos financieros incluyen la inflación.

Algunas de las hipótesis sobre los beneficios y los costos se expresan en dólares del año 2016. Así, se utiliza la siguiente tasa de cambio, que es válida a la fecha de 01/01/2016, para convertir estos datos en pesos colombianos:

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 USD = 3 179,65 COP¹

Para las proyecciones de los costos de operación se consideran principalmente los pesos colombianos. A pesar de que los costos se expresan en USD/vagón.km, el gasto real no se realiza totalmente en divisas extranjeras (en la estructura de costos de operación se puede establecer que el componente extranjero representa aproximadamente un 12% del total para compra de materiales y repuestos para el mantenimiento del sistema ferroviario y material rodante). En esta etapa del análisis a nivel de prefactibilidad se considera aceptable. Un análisis detallado del flujo contable diferenciado en moneda local y divisas extranjeras deberá ser objeto de desarrollo en la etapa de estructuración técnica, legal y financiera del proyecto.

3.1.4.2 Inflación

Hasta 2021, se han tomado las proyecciones oficiales del Fondo Monetario Internacional (FMI) para la inflación de la Colombia:

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Inflación	3,66%	6,77%	5,29%	3,33%	3,00%	3,00%	3,04%	3,04%

Tabla 1 - Hipótesis sobre la inflación en Colombia para el periodo 2014-2021 - Fuente: FMI

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

3.1.4.3 Impuestos

El impuesto sobre las empresas es el impuesto que paga el operador-mantenedor al Estado. Para el ejercicio se ha asumido una tasa normalizada en un nivel de 33% del excedente bruto de explotación.

3.1.5 Composición de los trenes

Para calcular los vagones*kilómetros y tren*kilómetros se necesita formular una hipótesis sobre la composición de los trenes. Se conoce que cada tren está constituido de 6 vagones.

3.2 Hipótesis sobre los ingresos

3.2.1 Proyección de abordajes

Como los ingresos que se estiman son unitarios, es decir dependen del número de abordajes, se necesita conocer los abordajes en el metro para estimar los beneficios completos. Estos datos

¹ Ver <http://www.xe.com/fr/currencytables/>

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

proviene de las simulaciones realizadas para la ciudad de Bogotá por la SDM con el modelo 4 etapas sobre la demanda de transporte en el metro para todos los horizontes del proyecto, es decir 2020, 2030 y 2050.

Gracias a estos datos proporcionados por la SDM, se pueden reconstituir los tráficos en cada año del periodo del análisis tomando como referencia los resultados para los horizontes 2020, 2030 y 2050. La reconstitución de la evolución de los resultados se establece con una relación del tipo: $\text{demanda}(\text{año}) = \frac{\text{demanda}(2030) - \text{demanda}(2020)}{2030 - 2020} * (\text{año} - 2020) + \text{demanda}(2020)$. La anualización de la demanda de metro se ajusta para 300 días al año.

La cantidad de embarques y otras características de transporte de la PLMB son presentadas en el Entregable N° 5, “Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original”.

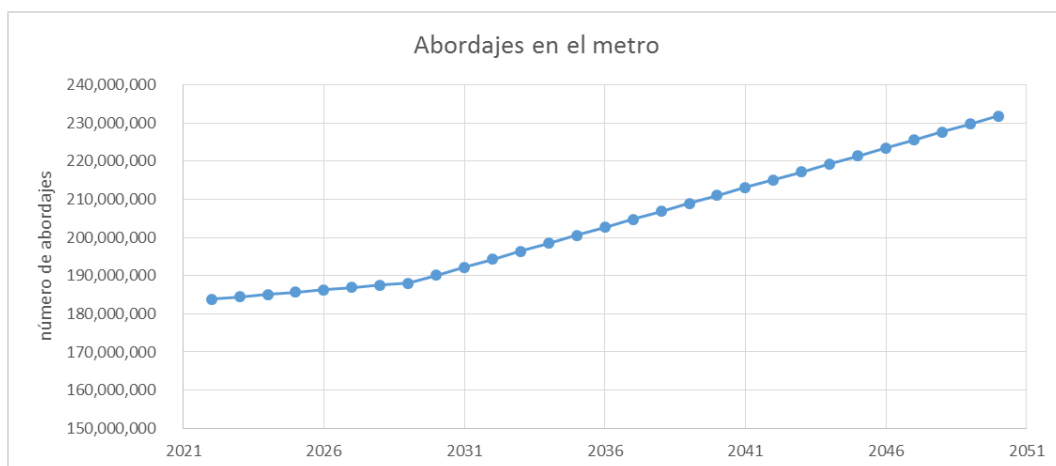


Figura 2 : Evolución abordajes en el metro durante el periodo de análisis – Fuente : SDM; Elaboración : SYSTRA.

Se observa que la demanda crece siempre, pero más fuertemente después del 2030.

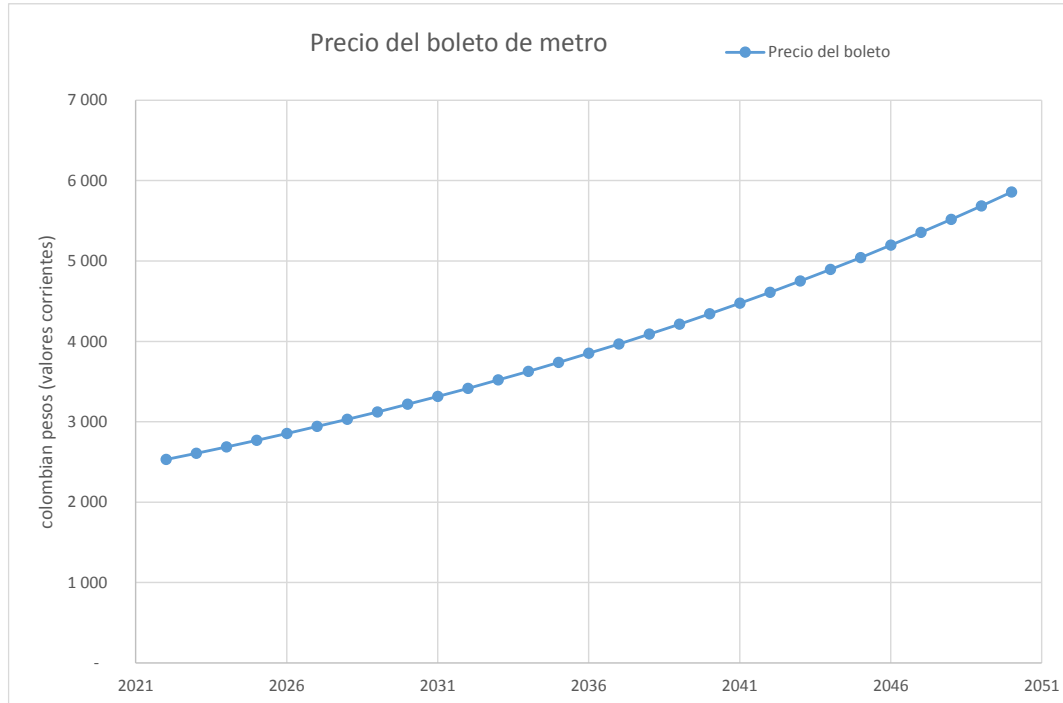
3.2.2 Ingresos vinculados a la venta de los boletos

Como dato de partida, se toma en cuenta un precio del boleto de metro diferenciado por tipo de usuario: de 2 000 COP (2016) si el usuario utiliza solamente el modo metro y de 2 300 COP (2016) si el usuario realiza una transferencia con otro modo del sistema integrado. Este precio es el que actualmente pagan los usuarios de TransMilenio al utilizar únicamente el servicio troncal y el servicio troncal más un servicio del SITP respectivamente.

El valor combinado entre los dos tipos de pago es de 2 111 COP en 2016, considerando que un 37% de los usuarios de metro hacen transferencia hacia otros modos integrados y un 63% no hacen cambio de modo según simulaciones de la SDM para la PLMB.

Se asume que este precio varía al mismo ritmo de la inflación, como en la siguiente figura.

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



**Figura 3: Evolución precio combinado del boleto de metro (según la inflación) durante el periodo de análisis –
Elaboración : SYSTRA**

3.2.3 Ingresos de negocios conexos

Estos ingresos están relacionados con los contratos de publicidad y otras actividades comerciales. Para evaluarlos se considera que son iguales al 6,2% de los ingresos tarifarios². Este ratio es el que se observa en promedio en los sistemas de metro en Francia. Estos incluyen publicidad en estaciones y vagones del metro e ingresos por arriendo de locales comerciales en las instalaciones de las estaciones.

² TRANSPOLE Lille Métropolitaine. Metro automático de Lille, Francia. Participación del componente publicitario e inmobiliario en el volumen de ingresos: 6,4% en 2010.

METRO DE MEDELLIN, Participación del componente publicitario e inmobiliario en el volumen de ingresos: 5% en 2006.

ALAMYS 2006: El estudio sobre Indicadores Económicos que se realiza desde el año 2002, pone de manifiesto el diferente porcentaje que representan los ingresos conexos sobre el total de ingresos de las compañías de metro. La dimensión que tienen estos ingresos en cada una de las empresas que participa en el estudio es muy diferente: en el estudio realizado para el período 1999-2004, la cobertura de este tipo de ingresos iba desde el 1% hasta el 13,9, siendo el promedio de 6,2% para las 10 empresas que más impulso le dan a estas actividades.

3.3 Hipótesis sobre los costos

3.3.1 Costos dependientes de los vagones*kilómetros

Como para el análisis socioeconómico, se utilizan los costos de operación y mantenimiento del metro de estudios anteriores en América Latina realizados por SYSTRA³. El costo por vagón*kilómetro para un metro elevado es 4,78 USD en 2016 (en el caso de Bogotá) y evoluciona con la inflación. Estos costos incluyen por vagón.km (Ver Anexo 1):

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

Sin embargo, este costo es únicamente válido para el escenario con conductores, GoA2. Para el otro escenario GoA4 (sin conductores), se estima el costo de los conductores y se deduce este costo del costo total. El costo de los conductores no está dado solamente por el costo salarial de los mismos sino por el costo salarial de la estructura que los coordina, el costo de tiempo de baja por enfermedad de los asalariados y el tiempo dedicado a la formación continua de los mismos⁴. El costo del capítulo conducción de trenes es estimado en 5 129 300 USD en 2016 (aproximadamente 16 309 millones de COP) para una flota de 54 trenes.

Cabe resaltar aquí que aun cuando al iniciar las operaciones se tendrá una flota de solo 25 trenes, el indicador del costo por vagón.kilómetro se mantiene constante porque ese indicador depende de la inversión realizada según la cantidad de material rodante y un costo de personal que se adecúa a la cantidad de vehículos en la flota.

Las economías de escala que pudieran significar hacer el mantenimiento de la flota de diferente tamaño se logran desde el primer momento de la puesta en marcha del sistema puesto que se prevé realizar la inversión del patio-taller para el conjunto de la flota a largo plazo desde el inicio del proyecto.

³ SYSTRA (2012). Estudio de factibilidad para un sistema metro en el Área Metropolitana de Lima-Callao
SYSTRA (2008). Estudio de política tarifaria, sistemas tarifarios, sistemas de compensación y mecanismos de financiamiento, aplicables a los sistemas de transporte masivo en Venezuela (metro de Caracas, Metro de Los Teques, Metro de Maracaibo, Metro de Valencia, Tren de Cercanías Caracas-Cua

⁴ Ver el informe del Entregable N°10, Recomendaciones para material rodante y sistemas electromecánicos

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

3.3.2 Proyección de oferta de transporte

La oferta de transporte en metro va aumentando a lo largo del periodo del análisis financiero para atender el incremento constante de los pasajeros por hora y por dirección (pphpd) en el período de análisis. Se parte de una oferta de 3 819 000 tren*kilómetro/año al inicio de las operaciones hasta llegar a una oferta de 4 437 000 tren*kilómetro/año en 2050, para adecuarla (con el intervalo de servicio) a los niveles de pphpd derivados de las modelaciones de transporte de la SDM.

Cabe anotar que se han tomado en cuenta, aparte de los trenes.km producidos entre estaciones terminales, los trenes.km producidos por las maniobras de los trenes atrás de las estaciones terminales y los viajes en vacío que normalmente se producen en un sistema de metro pesado. Ambos movimientos adicionales de trenes representan un 20% de la oferta comercial según observaciones y experiencia de SYSTRA en sistemas de metro. Igualmente y aunque aún no está definida la posición del patio-taller, se han tenido en cuenta los trenes.km producidos a lo largo de los 5 km del ramal técnico y las maniobras de trenes en el patio-taller.

La siguiente tabla presenta las necesidades de producción de trenes.km en dos horizontes de tiempo que corresponden a las simulaciones de la SDM con el modelo de transporte de 4 etapas. Se considera una oferta anual para satisfacer 326 días al año.

Escenario según horizontes	Pphpd	Frecuencia tren/hora	N° trenes	Trenes.kilometro				Totales
				Entre terminales	Maniobras y vacíos	Ramal técnico	8% adicional para cubrir 326 días/año	
Escenario Calle 72 (2030)	34 818	19,35	25	753,99	150,80	338,90	60,32	1 304
Escenario Calle 72 (2050)	39 479	21,82	28	849,95	169,99	391,07	68,00	1 479

Tabla 2 - Producción de trenes.km por horizonte – Elaboración de SYSTRA según simulaciones de la SDM 2016

3.3.3 Otros costos

3.3.3.1 Costos de renovación de la infraestructura

Se supone que los costos de renovación de la infraestructura, que son costos de mantenimiento pesados, son los mismos que los costos de inversión inicial. Pueden calcularse según dos metodologías:

- **Renovación única**, el año antes del fin de vida útil. En esta metodología, el operador-mantenedor no anticipa y paga el costo total de renovación al último momento.
- **Renovación distribuida** a lo largo de la vida útil de cada componente. Esta metodología significa que cada año el operador-mantenedor provee una porción del costo total de renovación para distribuir el gasto.

La primera metodología es utilizada en el análisis socioeconómico. En el análisis financiero, se prefiere utilizar la segunda metodología para tener un flujo de tesorería sin grandes altibajos, es decir absolutamente predecible en el tiempo. Para calcular los costos de renovación, se necesita conocer 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

vida útil de cada componente de la infraestructura del metro. Estas hipótesis de vida útil son determinadas con base en las experiencias de sistemas de transporte existentes en el mundo y son agrupadas así:

Partida de gasto	Vida útil (años)
Costos de construcción y suministro – Metro	
Obra civil línea	50
Sistema ferroviario	50
Estaciones	50
Talleres y cocheras	30
Urbanismo y paisajismo	50
Obras civiles adicionales	50

Tabla 3 - Vida útil por partida de gasto de la infraestructura - Elaboración: SYSTRA

Los costos de inversión usados en el análisis de los costos de renovación son presentados en la siguiente tabla. Estos costos son en precios de mercado de conformidad con la practica por los análisis financieros.

Partida de gasto	Inversión total en millones de pesos corrientes 2016 (sin AIU)	Costo de renovación distribuido (anual) en millones de pesos corrientes 2016 (sin AIU)
Infraestructura		
Componentes con vida útil de 30 años	442 260	14 742
Componentes con vida útil de 50 años	4 871 004	97 420
TOTAL	5 313 264	112 162

Tabla 4 - Costos de renovación distribuido (anual) en millones de pesos 2016 – Elaboración: SYSTRA

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

4. RESULTADOS - ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD FINANCIERA

4.1 Resultados por indicador para un nivel tarifario combinado de 2 111 COP

La siguiente tabla muestra la sumatoria de los ingresos (beneficios) y costos de 30 años del período de evaluación, en pesos constantes de 2016 y con base en un precio de boleto combinado entre usuarios que hacen (2 300 COP) y los que no hacen transferencia (2 000 COP) de 2 111 COP. Se incluye la depreciación de la infraestructura.

TOTAL sobre el periodo de análisis Valores en millones de pesos constantes de 2016	Línea elevada Calle 72– con conductores	Línea elevada Calle 72 - sin conductores
Ingresos de la venta de boletos	12 493 800	12 493 800
Ingresos negocios conexos	772 400	772 400
Beneficios totales	13 266 200	13 266 200
Costos de operación, de mantenimiento ordinario y de renovación del material rodante, y costos de mantenimiento ordinario de la infraestructura	-10 817 100	-10 344 200
Depreciación de la infraestructura	-3 252 700	-3 252 700
Costos totales	-14 069 800	-13 596 900

Tabla 5 - Ingresos y costos detallados para cada escenario en el período de análisis –Elaboración: SYSTRA

Entre los dos escenarios, la sola diferencia es el costo de operación y de mantenimiento del material rodante, que es 5% menos costoso sin conductores.

Se puede observar que con el nivel tarifario previsto, los ingresos no permiten cubrir los costos operacionales del sistema más la depreciación de la infraestructura en ninguno de los dos escenarios, en el caso de que el mantenedor-operador del sistema se haga cargo de la responsabilidad de las reinversiones en infraestructura del sistema.

Por otro lado, si el operador-mantenedor no es el responsable de realizar reinversiones en materia de infraestructura, **los ingresos obtenidos por venta de boletos y negocios conexos permitirían cubrir los costos operacionales del sistema.** Según el conocimiento del Consultor, el Metro de Medellín no considera la depreciación de la infraestructura en la sostenibilidad de la explotación del sistema, por tanto para el caso de la PLMB se pudiera seguir ese ejemplo.

En razón de los anteriores resultados, se hace imprescindible un análisis de variación del nivel tarifario para que su monto cubra también la depreciación de la infraestructura.

4.1 Análisis de variación del nivel tarifario

Como se ha visto anteriormente, si se considera que el operador-mantenedor es responsable también de la renovación de la infraestructura, los ingresos percibidos, en ambos escenarios con y sin conductores, no alcanzarán a cubrir totalmente los costos estimados.

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 tal motivo, se ha realizado un análisis de variación del nivel tarifario para encontrar la tarifa técnica de equilibrio en relación al costo operacional de mover cada pasajero. Las siguientes figuras presentan la evolución en el período de análisis de ambas variables en pesos corrientes y constantes.

Considerando solamente el nivel tarifario combinado de 2 111 COP (sin ingresos anexos), en las figuras 4 y 5, se observa que el escenario con conductores no es rentable antes de 2047 porque el precio del boleto es inferior al costo de equilibrio. Para el escenario sin conductores, el precio del boleto es siempre superior al costo de equilibrio a partir de 2040, es decir que a partir de esa fecha los pasajeros pagarán más que el mínimo para garantizar la rentabilidad financiera del proyecto.

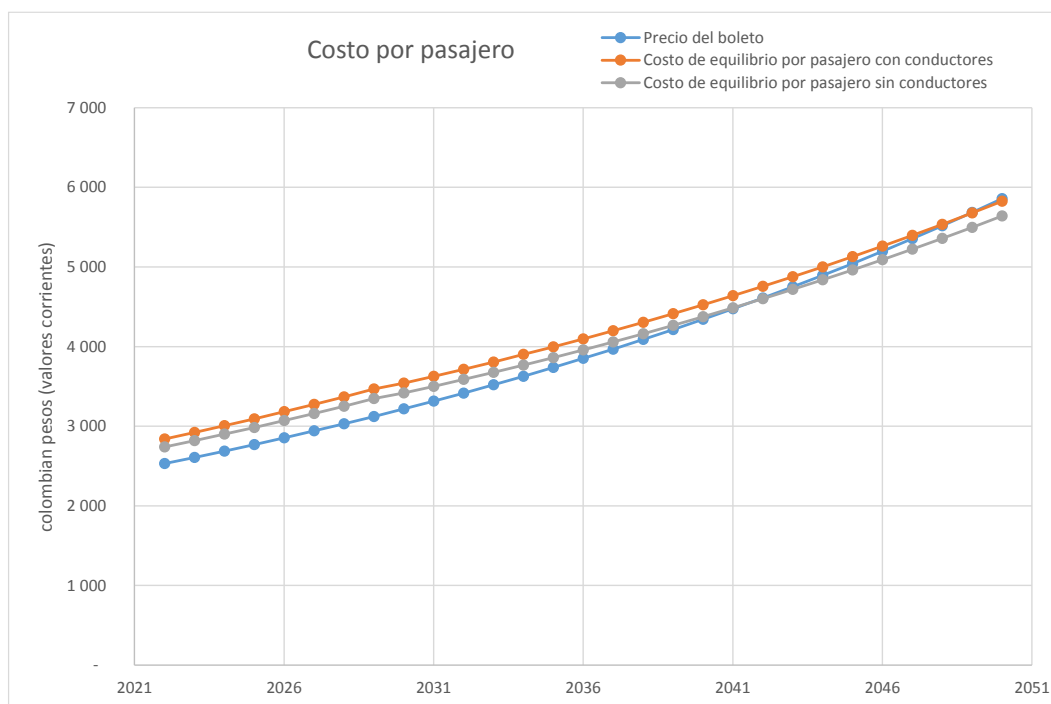


Figura 4. Costos de equilibrio y precio del boleto para cada escenario en pesos corrientes (tarifa combinada de 2 111 COP 2016). Fuente: SYSTRA

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

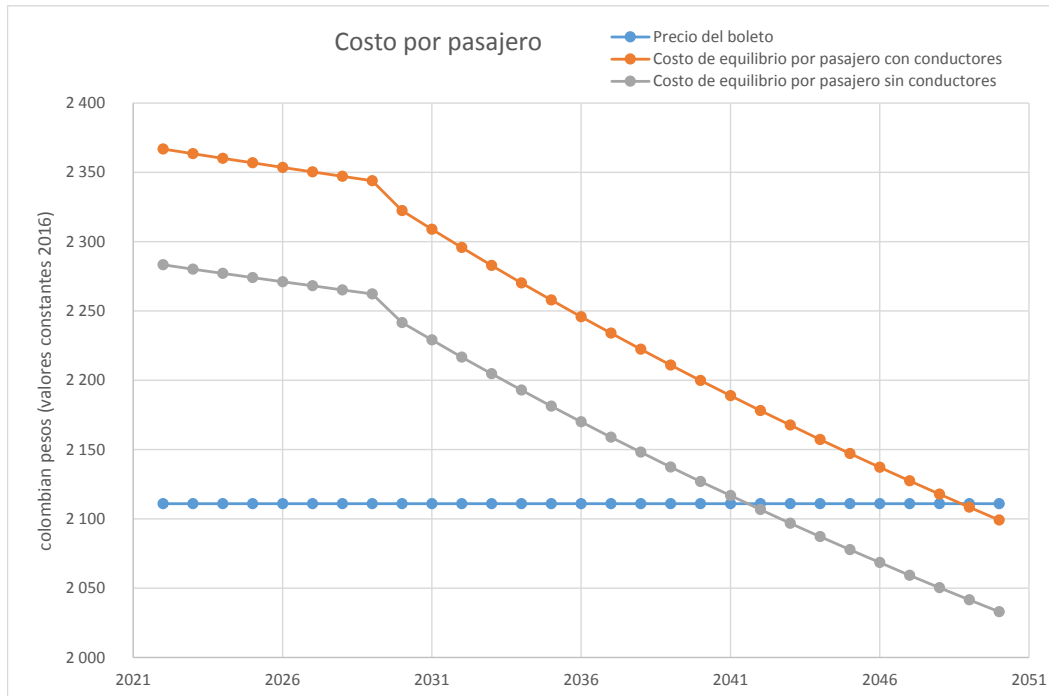


Figura 5. Costos de equilibrio y precio del boleto para cada escenario en pesos constantes (tarifa combinada de 2 111 COP 2016). Fuente: SYSTRA.

Por tanto, se realizó una simulación que encuentre un equilibrio con los costos operacionales, al menos para el escenario sin conductores el cual ha tenido un mejor comportamiento financiero a través del análisis, una tarifa combinada (cobrada diferencialmente a los usuarios de metro que hacen y no hacen transferencias con otros modos integrados).

La tarifa combinada de 2 300 COP, la cual significa un costos de 2 100 COP para los usuarios de metro que no hacen transferencias y de 2 640 COP para los usuarios que hacen transferencia con los modos SITP o TM, es la que propicia la cobertura de los costos del sistema mediante los ingresos tarifarios desde el inicio de las operaciones al escenario sin conductores.

Bajo este supuesto tarifario, el escenario con conductores comenzará a ser cubrir sus costos con los ingresos tarifarios a partir de 2033

Las siguientes figuras presentan los resultados utilizando la tarifa combinada de 2 300 COP.

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

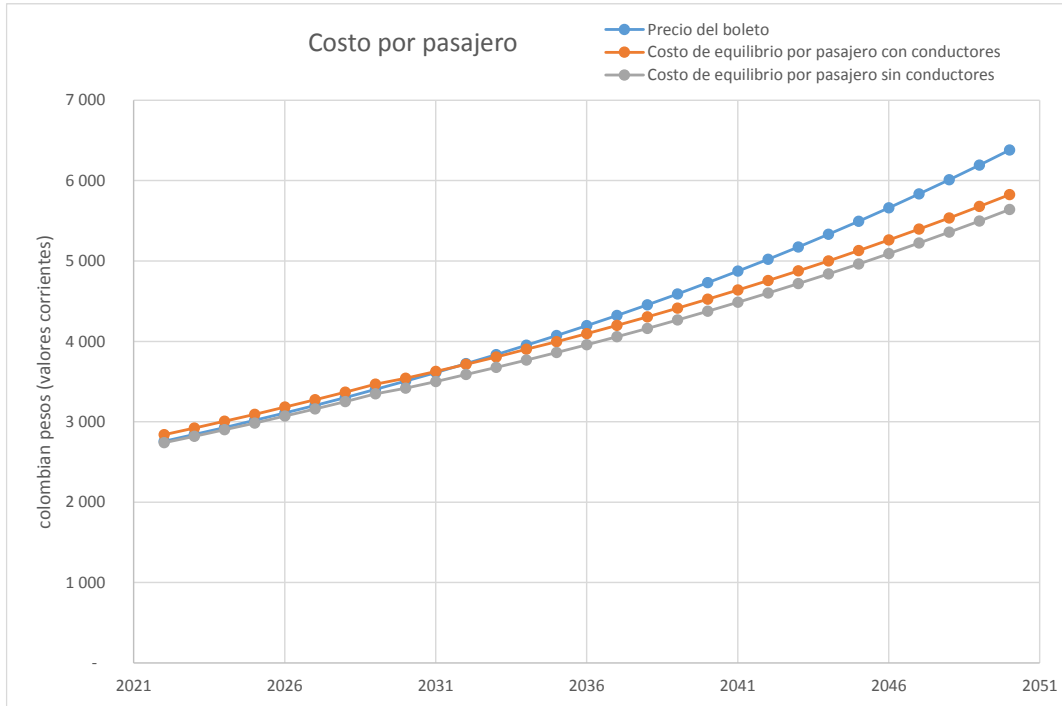


Figura 6. Costos de equilibrio y precio del boleto para cada escenario en pesos corrientes (tarifa combinada de 2 300 COP 2016). Fuente: SYSTRA

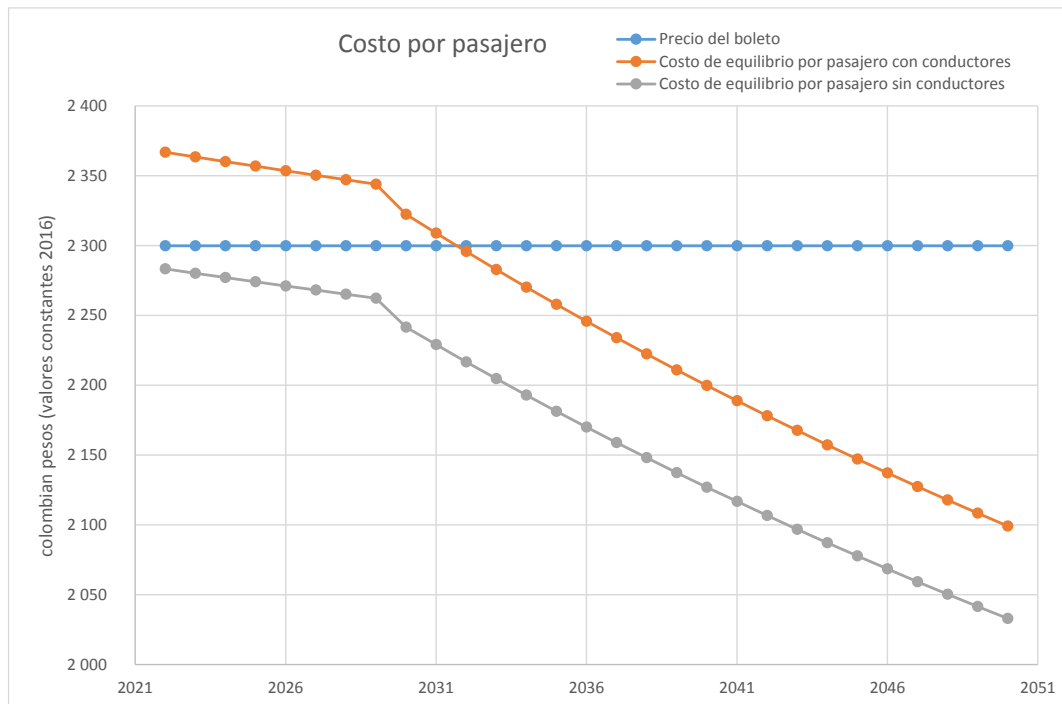


Figura 7. Costos de equilibrio y precio del boleto para cada escenario en pesos constantes (tarifa combinada de 2 300 COP 2016). Fuente: SYSTRA

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

4.1 Resultados por indicador para un nivel tarifario combinado de 2 300 COP

La siguiente tabla muestra la sumatoria de los ingresos (beneficios) y costos de 30 años del período de evaluación, en pesos constantes de 2016 y con base en un precio de boleto combinado entre usuarios que hacen (2 640 COP) y los que no hacen transferencia (2 100 COP) de 2 300 COP. Se incluye la depreciación de la infraestructura.

Y en la siguiente tabla se muestran los resultados pero solamente para un año en promedio a precios constantes de 2016.

TOTAL sobre un año en promedio Valores en millones de pesos constantes de 2016	Línea elevada Calle 72– con conductores	Línea elevada Calle 72 - sin conductores
Ingresos de la venta de boletos	13 612 400	13 612 400
Ingresos negocios conexos	841 500	841 500
Beneficios totales	14 454 000	14 454 000
Costos de operación, de mantenimiento ordinario y de renovación del material rodante, y costos de mantenimiento ordinario de la infraestructura	-10 817 100	-10 344 200
Depreciación de la infraestructura	-3 252 700	-3 252 700
Costos totales	-14 069 800	-13 596 900

Tabla 6 - Ingresos y costos detallados para cada escenario en un año promedio –Elaboración: SYSTRA

Para los dos escenarios (con y sin conductores), la tendencia es la misma: el ratio de los beneficios sobre los costos crece de 2022 hasta 2047. Para el escenario sin conductores, su valor es siempre superior a 1; en contrapartida, en el escenario con conductores, su valor es 0,97 en 2022 y se convierte en un valor más grande que 1 solamente en 2032.

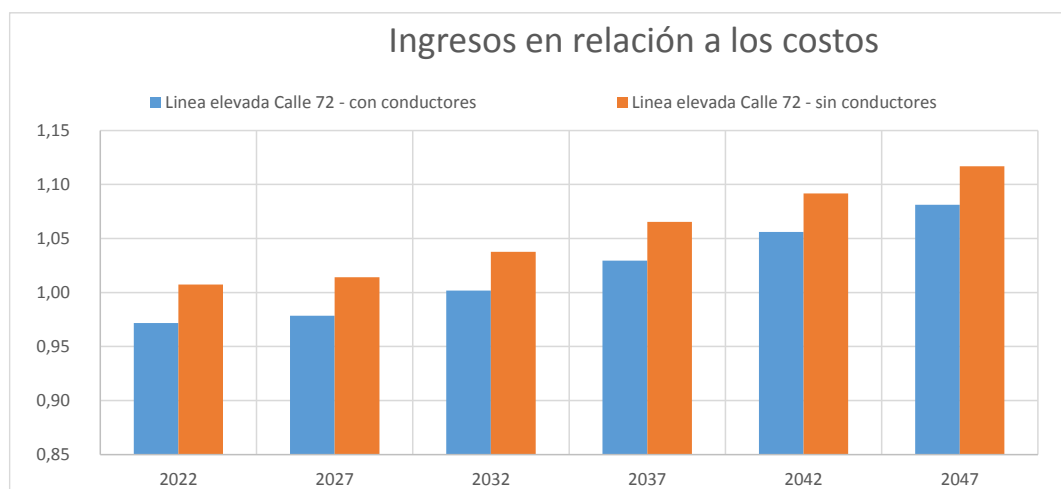


Figura 8: Ratio de los ingresos sobre los costos para cada escenario con base en tarifa combinada de 2 111 COP – Elaboración: SYSTRA

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

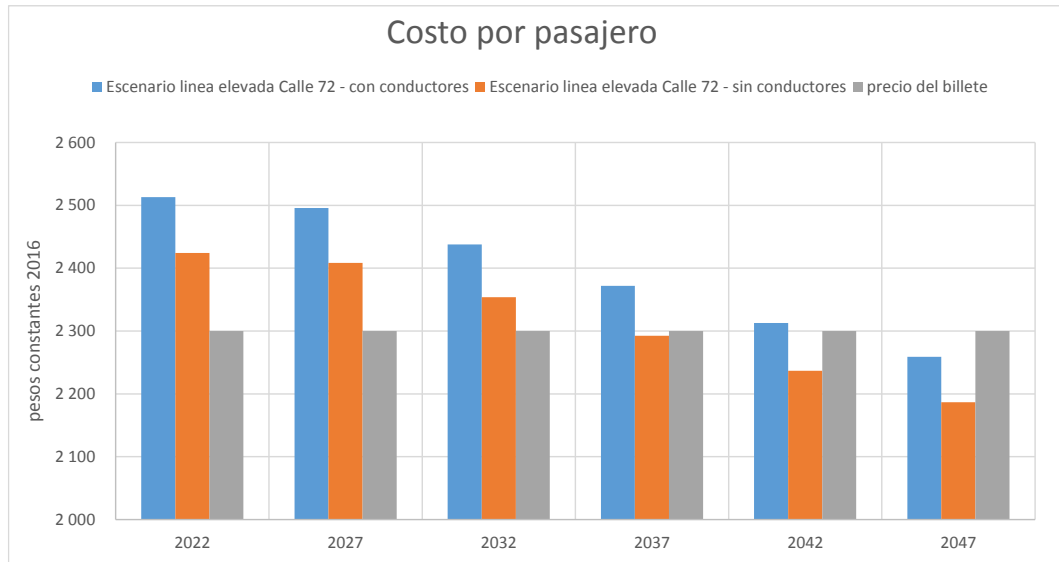


Figura 9: Costo por pasajeros para cada escenario en comparación con el precio del boleto combinado a 2 300 COP – Elaboración: SYSTRA

El costo por pasajero tiende a disminuir gracias a la acumulación del efecto (que favorece la disminución del costo) por el aumento de los pasajeros transportados que crece más rápido que el aumento de los trenes.km proporcionados.

El costo por pasajero que incluye no solamente los costos operacionales sino la depreciación de la infraestructura se acerca al precio del boleto solamente:

- para el escenario con conductores a partir del año 2042;
- para el escenario sin conductores, a partir del año 2037.

Sin embargo, el boleto no es el único ingreso: existen también los ingresos por negocios conexos. Gracias a estos ingresos adicionales, los beneficios son más grandes que los costos durante 10 años para el escenario con conductores y a lo largo de todo el periodo de análisis para el escenario sin conductores.

Con respecto a los costos operacionales del sistema metro, las siguientes figuras presentan los resultados en pesos colombianos y dólares americanos por tren.kilómetro y vagón.kilómetro. La Figura 11, presenta el costo por vagones*kilómetro en dólares constantes. Su costo es de 6,32 USD 2016 con conductores y 6,10 USD 2016 sin conductores (en el inicio de operaciones en 2022). Es un poco más que el costo presentado en el apartado 3.3.1 (4,78 USD 2016) porque incluyen los costos de renovación de la infraestructura.

El costo por tren.km y vagón.km tienden a disminuir porque el volumen de trenes.km aumenta más rápidamente que sus costos involucrados

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

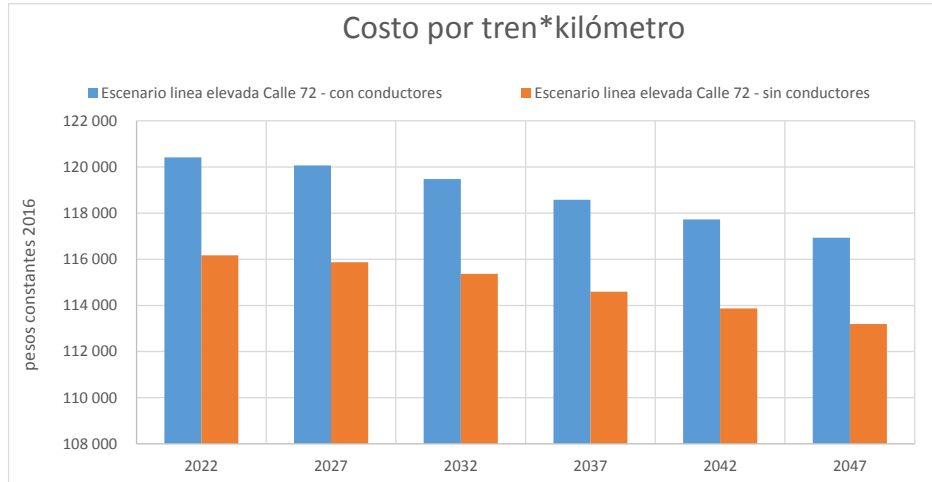


Figura 10: Costo por tren*kilómetro para cada escenario – Elaboración: SYSTRA

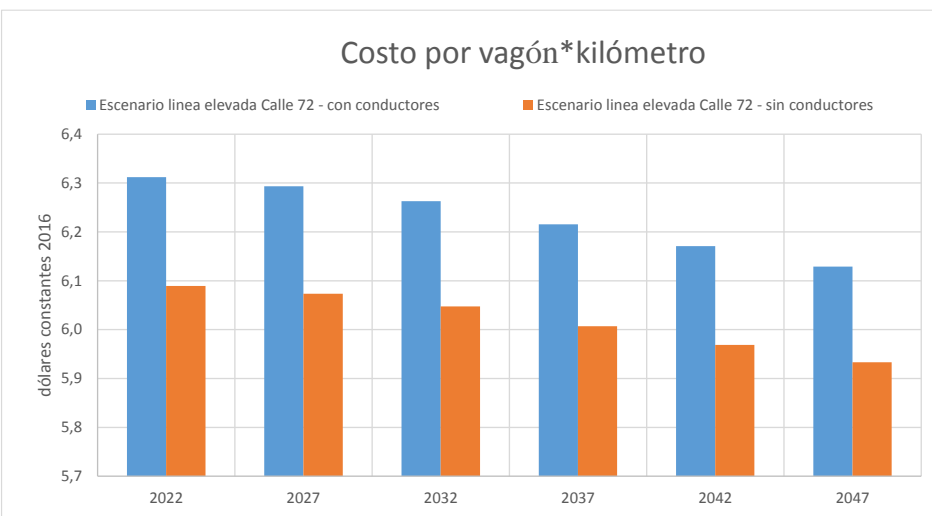
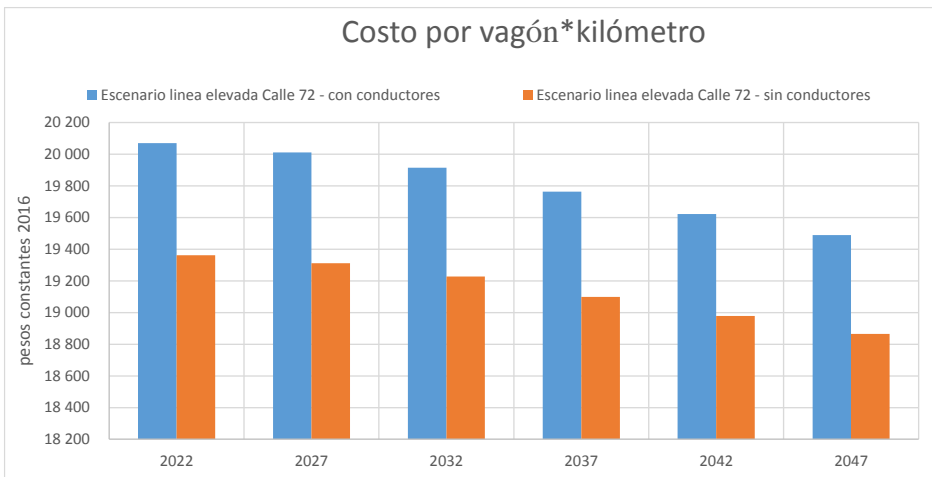


Figura 11: Costo por vagón*kilómetro para cada escenario en pesos y dólares constantes – Elaboración: SYSTRA

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

El excedente bruto de explotación y proporcionalmente el impuesto, siguen la misma tendencia que el ratio de los beneficios sobre los costos: estos indicadores crecen siempre, y para el escenario sin conductores son siempre positivos mientras que para el escenario con conductores son positivos después de 2028. Como antes, están vinculados a las variaciones de los embarques de pasajeros en el metro.

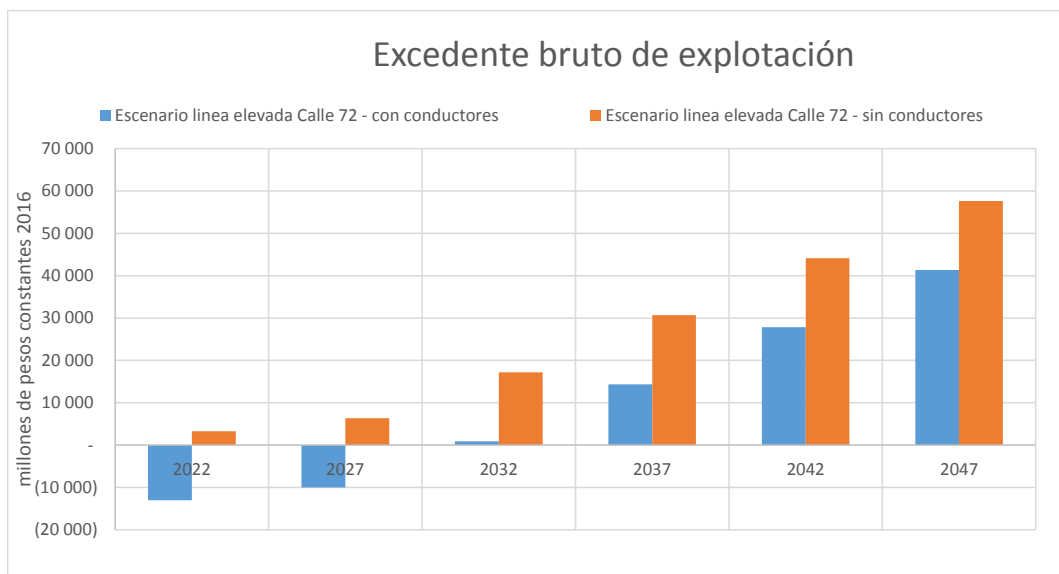


Figura 12: Excedente bruto de explotación para cada escenario – Elaboración: SYSTRA

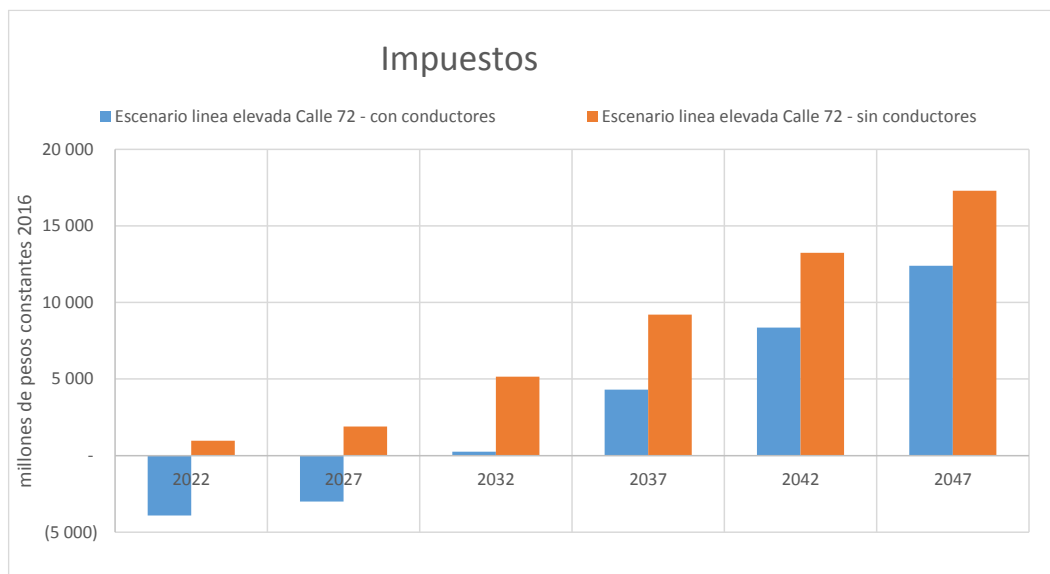


Figura 13: Impuestos para cada escenario – Elaboración: SYSTRA

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

4.2 Conclusiones

Los dos escenarios probados sin y con conductores, tienen diferencias de sostenibilidad si se le incorporan o no los costos de la depreciación de la infraestructura y si se considera distintos niveles tarifarios.

Para el caso del nivel tarifario combinado de 2 111 COP que toma en cuenta el precio de 2 000 COP para viajes unimodales y de 2 300 COP para viajes con transferencias, la sostenibilidad financiera se encuentra solamente si no se consideran los costos por depreciación de la infraestructura. Por tanto se entiende que es sostenible financieramente dejando bajo la responsabilidad del estado las renovaciones de la infraestructura y no por parte del operador-mantenedor.

Por el contrario, cuando el nivel tarifario combinado es de 2 300 COP, ambos escenarios parecen aceptables desde el punto de vista financiero porque todos los indicadores estudiados son positivos a partir de un determinado año.

Entre los dos escenarios analizados, el escenario de metro automático sin conductores, GoA4, es sistemáticamente mejor que el escenario metro automático con conductores, GoA2. Este escenario tiene siempre mejores indicadores y son siempre positivos con el nivel tarifario combinado de 2 300 COP.

Efectivamente, este análisis financiero resalta que con el solo hecho de evitar la remuneración del capítulo conducción de trenes, lo cual tiene un impacto sobre los costos de explotación, se llega a que los ingresos por tarifa y por negocios conexos sean suficientes para cubrir solamente la operación.

Para cubrir las renovaciones de infraestructura durante todo el período de análisis es indispensable fijar el nivel tarifario combinado en 2 300 COP.

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. ANEXO 1: COSTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA METRO ELEVADO SEGÚN ESCENARIOS SIN Y CON CONDUCTORES

COSTOS DE OPERACIÓN	US\$/vag.km elevado sin conductores (2016)	US\$/vag.km elevado con conductores (2016)
COSTOS DE PERSONAL (todos los componentes del sistema)		
Personal de Operación-Mantenimiento	0,77	0,99
Personal de Apoyo	0,40	0,40
Costo de Limpieza	0,13	0,13
Costo de Seguridad	0,10	0,10
Personal	1,41	1,62
COSTOS DE MANTENIMIENTO (materiales, contratos)		
Material Rodante	0,55	0,55
Media Vida Material Rodante	0,22	0,22
Vías Férreas	0,09	0,09
Señalización	0,05	0,05
Telecomunicaciones	0,05	0,05
Electrificación	0,06	0,06
Otros Equipos (sistema de cobro, instalaciones estación)	0,09	0,09
Estaciones y Edificaciones	0,13	0,13
Estructuras	0,12	0,12
Mantenimiento	1,35	1,35
Electricidad	0,66	0,66
SUB-TOTAL COSTOS DE EXPLOTACIÓN	3,42	3,64
COSTOS FINANCIEROS Y DE SEGUROS		
Costos financieros préstamos para material rodante	0,60	0,60
Seguros explotación (Infraestructura y Sistema Integral)	0,14	0,14
Variación del capital de trabajo	0,05	0,05
Amortizaciones de la inversión en material rodante	0,36	0,36
Costos financieros + seguros	1,15	1,15
TOTAL COSTOS DE EXPLOTACIÓN	4,56	4,78
Costo del kwh (USD)	0,08	
Consumo eléctrico de cada vagon (kwh/vagon.km)	3	