

PROYECTO ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO BOGOTÁ

“Consultoría para realizar un estudio de ingeniería de valor para el proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá para optimizar el valor del proyecto (funcionalidad y costos) propuesto desde una perspectiva de ciclo de vida y abordando aspectos de diseño, construcción por fases, cronograma y riesgos, con el objetivo de optimizar el retorno socioeconómico de la inversión”



Entregable No. 4: Informe Final de Ingeniería de Valor

INDICE

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.....	5
2	DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS DURANTE EL TALLER EN BOGOTÁ D.C.....	6
2.1	Metodología empleada	6
2.2	Resumen de las ideas aportadas en la Ingeniería de Valor	6
2.3	Comentarios y observaciones de los asistentes al Taller	7
2.4	Comentarios específicos del Distrito realizados posteriormente al Taller.....	9
3	PLANTEAMIENTO DEL PRESENTE INFORME FINAL	10
3.1	Propuestas de ideas agregadas.....	10
3.2	Propuestas relativas a la ejecución por fases	10
3.3	Propuestas relativas a los precios unitarios y al mercado de la construcción.....	10
3.4	Propuestas relativas al modelo de implementación y explotación de la PLMB	10
4	METODOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA DE VALOR DE LA PLMB.....	11
4.1	Incremento de Valor	11
4.2	Funciones (prestaciones) y Costos (recursos).....	13
4.2.1	Funciones (prestaciones).....	13
4.2.2	Costos (recursos)	14
4.3	Criterios, Funciones de utilidad y Pesos.....	14
4.3.1	Operación	14
4.3.2	Nivel de Servicio	15
4.3.3	Funciones secundarias.....	17
4.3.4	CAPEX & OPEX	18
4.3.5	Efectos colaterales.....	19
4.4	Evaluación de las propuestas.....	20
5	PROPUESTAS DE IDEAS AGREGADAS	21
5.1	Propuesta 1 - OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESTACIONES.....	22
5.2	Propuesta 2 - OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA Y DE LA VÍA.....	28
5.2.1	Supresión de estaciones.....	28
5.2.2	Optimización del trazado	30
5.2.3	Optimización de la superestructura de vía	34

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

5.2.4	Resumen de la propuesta	34
5.3	Propuesta 3 - OPTIMIZACIÓN DEL GRADO DE AUTOMATIZACIÓN OPERACIONAL	35
5.4	Propuesta 4 - OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA Y DE LOS CONSUMOS DE TRACCIÓN ...	37
5.4.1	Consumos	37
5.4.2	Potencia de los trenes.....	38
5.4.3	Potencia y consumos excesivos en estaciones.....	40
5.4.4	Resultados de la simulación de tracción optimizables	40
5.4.5	Otros aspectos de mejora.....	40
5.4.6	Cuantificación de los ahorros CAPEX.....	41
5.4.7	Cuantificación de los ahorros OPEX	41
5.5	Propuesta 5 - PROLONGACIÓN DEL TUNEL CON TUNELADORA (TBM) HASTA CALLE 85	42
5.6	Propuesta 6 - OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DEL TERRENO	46
5.7	Propuesta 7 - OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS.....	50
5.7.1	Descripción y valoración de las ideas	50
5.7.2	Estimación de ahorros de la Propuesta	53
5.8	Propuesta 8 - OPTIMIZACIÓN DE LOS POZOS DE SALIDA DE EMERGENCIA.....	54
5.9	Propuesta 9 - OBTENCIÓN DE INGRESOS ATÍPICOS	56
6	PROPUESTAS RELATIVAS A LA EJECUCIÓN POR FASES DE LA PLMB	57
6.1.1	Ejecución diferida de obras e instalaciones	58
6.1.2	Ejecución de la Línea por tramos.....	60
7	PROPUESTAS RELATIVAS A LOS PRECIOS UNITARIOS Y AL MERCADO DE LA CONSTRUCCIÓN	61
7.1	Costos Directos	61
7.1.1	Concreto convencional	61
7.1.2	Acero	62
7.1.3	Excavación de pantallas.....	62
7.1.4	Excavación con TBM	62
7.1.5	Material rodante	62
7.1.6	Impacto general	62
7.2	Costos Indirectos: Administración, Imprevistos y Utilidad	63
7.3	Exención de impuestos e IVA	63
7.3.1	Exención de los impuestos del AIU	63
7.3.2	Exención del IVA.....	63
7.4	Análisis de oportunidades en la adquisición de equipos e instalaciones	64

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

8	PROPUESTAS RELATIVAS AL MODELO DE IMPLEMENTACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LA PLMB	67
9	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES FINALES	69
9.1	Recomendaciones finales	69
9.2	Resumen del Estudio de Ingeniería de Valor	70

APENDICES

APÉNDICE 1 - IDEAS DESARROLLADAS Y PRESENTADAS EN EL <i>WORKSHOP</i>	71
APÉNDICE 2 - ACTA DE LAS SESIONES DE PRESENTACIÓN DEL <i>WORKSHOP</i>	72
APÉNDICE 3 - FICHAS DE LAS PROPUESTAS DE LAS IDEAS AGREGADAS	73
APÉNDICE 4 - DESGLOSE DE COSTOS Y AHORROS EN CAPEX Y OPEX	74
APÉNDICE 5 - RESUMEN DE PROPUESTAS DE IDEAS AGREGADAS	75
APÉNDICE 6 - ANÁLISIS DE LOS PRECIOS UNITARIOS	76

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME

El objeto del presente Informe final (Entregable n° 4) es la presentación a la Financiera de Desarrollo Nacional de los trabajos realizados y de los resultados finales alcanzados en el estudio de Ingeniería de Valor, de acuerdo con los Términos de Referencia de su Contrato, del Diseño Básico Avanzado (DBA) de la Primera Línea de Metro de Bogotá, redactado por el Consorcio CL1 para el Instituto de Desarrollo Urbano.

Las actividades desarrolladas en este trabajo se han basado esencialmente en el estándar metodológico de SAVE International, el cual las agrupa en 4 fases, siendo el taller o *workshop* realizado en Bogotá D.C. (Actividad n° 3), la actividad central alrededor de la cual ha girado el presente estudio.

En el anterior Informe emitido por SENER (Entregable n° 3) se recogen en detalle las actividades realizadas para analizar, evaluar y presentar una serie de ideas con oportunidad de aportación de valor al proyecto. El objeto de presentar ese Informe a los decisores era, por su conocimiento del entorno y de las limitaciones de los recursos, la de escoger o de algún modo ordenar por prioridad decreciente, las propuestas con mayor oportunidad de incremento de valor, para ser consideradas, evaluadas y desarrolladas con mayor detalle a continuación.

En el presente Informe final, la descripción de cada una de estas propuestas con mayor oportunidad, haciendo hincapié en las formadas por agregación de ideas individuales que en conjunto aportan mayor valor al Proyecto, se presenta acompañada de una relación de principales ventajas e inconvenientes en su implementación. Se analizan básicamente desde su funcionalidad principal (atender una demanda de transporte público, bajo unas condiciones de seguridad y de nivel de servicio determinados) y de su coste en todo el ciclo de vida del proyecto: en fase de inversión para la construcción (CAPEX), y en fase de explotación, para su operación y mantenimiento (OPEX). Se complementa dicha descripción con la enumeración de posibles efectos (positivos y negativos) sobre aspectos colaterales (sociales, medioambientales, etc), y, si fuera apreciable, sobre el cronograma de trabajos y de la puesta en servicio de la PLMB, así como sobre los riesgos asociados no mitigados que fuera necesario asumir, en su caso.

Por otra parte, las oportunidades que ofrece una posible ejecución y puesta en servicio por fases de la línea o de partes de sus elementos es también uno de los objetivos de este Informe final. Estas oportunidades, con sus ventajas e inconvenientes, se han enfocado hacia la máxima reducción de las necesidades iniciales de los recursos para la construcción de las obras (CAPEX inicial), a costa de uno o varios aspectos como: inversiones diferidas (CAPEX diferido), costos de explotación (OPEX), funcionalidades y diversos aspectos colaterales, algunos de ellos no de menor importancia.

Así, las ideas generadas durante las primeras fases de este estudio de Ingeniería de Valor finalmente se han agregado o agrupado en “propuestas”, con diferentes niveles de oportunidad, habida cuenta de los efectos derivados positivos y negativos, en intensidad desigual. Sin pretender este Consultor tomar posición alguna, y partiendo siempre del análisis del DBA de CL1, se ha tratado de proporcionar con el máximo rigor y objetividad la máxima información sobre sus posibles optimizaciones, con objeto de facilitar la toma de decisiones a quien corresponda.

2 DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DE IDEAS DURANTE EL TALLER EN BOGOTÁ D.C.

En el Entregable n° 3 se hace una descripción detallada de los trabajos realizados y los resultados obtenidos en el Taller que tuvo lugar en la ciudad de Bogotá entre los días 23 y 27 de marzo de 2015, con la participación final de *stakeholders*. A continuación se resumen y destacan los conceptos más relevantes de dicha actividad.

2.1 Metodología empleada

El taller realizado en Bogotá D.C. por diferentes especialistas de SENER, sirvió para:

- Identificar y priorizar los objetivos del proyecto y las premisas sobre las que se basa
- Disponer de la necesaria y suficiente información de partida
- Identificar los criterios y puntos clave del DBA de CL1, de los que se preveía extraer Ingeniería de Valor
- Definir y evaluar ideas
- Identificar sinergias entre diferentes ideas
- Optimizar CAPEX-OPEX
- Analizar posibilidades de ejecución por fases
- Presentar unas primeras conclusiones y recomendaciones a los decisores

La realización propiamente dicha del taller en Bogotá constó de 6 fases:

- a) Información
- b) Análisis funcional
- c) Etapa creativa
- d) Evaluación
- e) Desarrollo
- f) Presentación

La presentación de los resultados (fase f) se realizó ante los decisores (Nación y Distrito, representados por la FDN y el IDU, respectivamente), ante los redactores del DBA (CL1) y ante aquellos otros *stakeholders* que FDN seleccionó. Los asistentes que finalmente acudieron a la presentación, representaban a las siguientes instituciones, organismos y empresas involucradas:

- Financiera de Desarrollo Nacional (FDN)
- Departamento Nacional de Planeación (DNP)
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)
- Empresa de Energía de Bogotá (EEB)
- Secretaría de Hacienda
- Banco Mundial (BM)
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)
- Consorcio CL1
- Consorcio Integral-AYESA
- METRO MEDELLÍN
- SUMATORIA
- OPEBSA
- TRANSMILENIO
- Otras Administraciones: SDP, SDM, SDH.

2.2 Resumen de las ideas aportadas en la Ingeniería de Valor

Como resumen de las actividades del taller de Ingeniería de Valor (cuyo detalle se encuentra en los apéndices del Entregable n° 3) se puede indicar:

- Se definieron por parte de los especialistas de SENER hasta **48 ideas**, evaluando para cada una de ellas la variación de las funcionalidades y los costos derivados. En el **Apéndice 1** se recoge un resumen.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Todas aquellas que aportaron funcionalidad positiva (o nula) con costo negativo (o nulo), desde el punto de vista de los evaluadores de SENER, supusieron **30 ideas**. Sumando directamente sus ahorros en CAPEX, se estimó un valor total de los mismos, de unos **900.000 MCOP (8,3% del costo directo de construcción)**. A parte, se determinaron beneficios en OPEX adicionales.
- Sumando los ahorros de las **48 ideas**, se estimó un valor teórico de **3.263.000 MCOP (30,25% del costo directo de ejecución de las obras)**. Sin embargo, esta cifra no supondría un ahorro real, puesto que hay superposiciones entre muchas de ellas, al no ser actuaciones absolutamente independientes.

También se pudieron extraer algunas conclusiones sobre:

- La construcción y puesta en servicio por fases.
- La estructuración de la implementación de la PLMB.

Así, una pequeña parte de las cantidades mencionadas anteriormente, por una parte correspondían a ahorros iniciales si se ejecuta la obra por fases y, por otra, depende del modelo de implementación y gestión de la PLMB

A partir de estos primeros resultados, los decisores tuvieron el cometido de analizar en qué medida es asumible una serie de pérdidas de funcionalidad de algunas ideas, si éstas resultan atractivas desde el punto de vista de ahorro sustancial de costos de inversión (sea inicial o total) y de explotación.

En definitiva, ha sido necesario conocer si van a ser asumidos ciertos costos sociales (p.e. impacto visual y sónico), o si se renuncia parcialmente a ciertos efectos colaterales positivos (regeneración urbana, cohesión social, captación de valor), no directamente relacionados con la funcionalidad principal, que es la de satisfacer una demanda de transporte público con una nivel de calidad y seguridad especificados.

Los decisores, con toda la información generada, debían establecer sus prioridades, antes de concluir el presente estudio. Es decir, de algún modo, definir la importancia que se debía asignar a cada funcionalidad y a cada coste, que permitiera priorizar las ideas que debían ser objeto de consideración y desarrollo posterior.

2.3 Comentarios y observaciones de los asistentes al Taller

Una vez expuestas las ideas por parte de los diferentes especialistas del Consultor de IdV, valoradas de forma individualizada pero agrupadas por disciplinas y por criterio de valoración, los asistentes emitieron una serie de observaciones, que tuvieron a bien formular en las Mesas Redondas (jueves) y en la fase final de la presentación (viernes), de las cuales se destacan a continuación las más significativas (ver Acta en **Apéndice 2**):

- Supresión de estaciones
Tanto el IDU como la EEB manifestaron sus reservas, en general y de forma desigual, a la supresión de ciertas estaciones. Sin embargo, de entrada no fue descartada, hasta ese momento, ninguna de las ideas que suponía suprimir alguna de las estaciones propuestas, para estudiar tal posibilidad.
- Reducción de dimensiones de los espacios públicos en estaciones
METRO DE MEDELLÍN, IDU y EEB desaconsejaron reducir la anchura libre de los andenes (de 4,5 a 3 m), puesto que si en el futuro se produce un incremento de demanda no previsto en los estudios, el Operador agradece la existencia de estas holguras en zonas públicas, especialmente en los andenes.
- Ejecución por Fases
La FDN insistió en que había que analizar las posibilidades de ejecución de la Línea por fases (tramos)
A este respecto, SENER indicó que en tal caso, para obtener resultados fiables, es necesario modelar adecuadamente el estudio de la demanda resultante, porque no es posible extraer directamente datos del modelo completo.
- Ubicación del patio de Talleres y Cochera
El IDU remarcó que, una vez desechada la opción de Gibraltar, se trató de buscar un predio más cercano al final de la Línea, o incluso en el otro extremo (calle 127), sin obtener el éxito deseado.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

La solución propuesta en la IdV de localizar un predio en Mosquera, fuera de los límites de Bogotá DC, implica iniciar un proceso de Evaluación Ambiental que puede resultar largo y tedioso, según el IDU.

SENER señaló la posibilidad de “dividir” el proyecto, segregando la parte del patio, para evitar que el proceso medioambiental lastre el conjunto de la actuación.

METRO DE MEDELLÍN también consideró que la ubicación en Bosa 37 supone un grave perjuicio para el OPEX. Aconsejó buscar un predio más cercano a la línea y reducir todo lo posible el ramal técnico.

➤ Modificación de la tipología de la infraestructura de línea (de subterránea a aérea) en el tramo SW (Portal de las Américas-Rosario)

Por propia experiencia, METRO DE MEDELLÍN opinó que la solución aérea no tenía por qué suponer necesariamente un aspecto negativo desde el punto de vista urbanístico y abogaba por poner en valor tal circunstancia, si bien, no todas las experiencias son extrapolables. BM, por su parte, aplaude la solución de METRO DE MEDELLÍN de apostar en esa ciudad por la solución aérea de tal infraestructura.

Sin embargo, el IDU manifestó que la decisión de adoptar el trazado subterráneo en el DBA de CL1 (salvo el tramo aprovechado del corredor de la Av. del Ferrocarril, que luego se modificó, y la nueva conexión con el patio de BOSA 37) obedece a las conclusiones del Diseño Conceptual, el cual se apoya en un Análisis Multicriterio (producto MB-GC-ME-ME-0016), y cuyas consideraciones de: satisfacción de la demanda, de movilidad, de seguridad, de afecciones, urbanísticas, sociales, ambientales, económicas y constructivas, claramente a favor de la solución soterrada, fueron asumidas en el DBA.

Estudios de la ITA-AITES (International Tunnelling and Underground Space Association), informes sobre la PLMB de la Universidad Nacional de Colombia y un Análisis de Alternativas (producto 27 del DBA) derivado del CONPES 3677, así lo avalan, y por tal motivo se apuesta por la solución soterrada.

El Consultor de IdV aclaró que el análisis realizado sólo tiene en cuenta funcionalidad y coste del DBA de CL1 y su objeto es apuntar posibles alternativas que puedan hacer viable el proyecto frente a una eventual falta de recursos, los cuales la FDN y el IDU tenían en aquella fecha todavía que confirmar.

➤ Afecciones prediales

Se solicitó un análisis de las afecciones prediales correspondientes a las diferentes propuestas presentadas. Dicho análisis se debería basar en la documentación incluida en el DBA de CL1.

➤ Captura de Valor

Se solicitó un análisis del impacto sobre la captura de valor para el proyecto que puedan tener las diferentes propuestas presentadas. A la base de la captura de valor están las regulaciones promulgadas al respecto por el Distrito Capital y la potencial revalorización de terrenos e inmuebles causada por la construcción del Metro en su vecindad.

La FDN manifestó que están en marcha actualmente estudios llevados a cabo por especialistas, en los que se analizan estas plusvalías y potencialidad de los predios cercanos a los accesos al Metro. No es objeto de la IdV realizar estas valoraciones, sino sólo indicar su influencia cualitativa.

➤ Precios unitarios del DBA de CL1

Se suscitaron ciertos comentarios sobre las ideas que hacían relación a los precios considerados en el Diseño Básico Avanzado de CL1.

En primer lugar, los suministros del exterior están condicionados a la evolución del cambio dólar/peso colombiano. El riesgo del cambio de divisa es muy elevado en este Proyecto.

Por otro lado, cualquier opción que suponga investigar el mercado asiático, debe hacerse con cautela, porque el nivel de calidad puede ser diferente al europeo o norteamericano. En esta línea, BM sugirió realizar un *benchmarking* con otros Metros del entorno, para conocer los insumos más elevados.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

En cuanto a los precios locales, el Consultor de IdV insistió en que los precios empleados por CL1 son de mercado (incluso ligeramente por debajo, así considerado por CL1 quizás por el efecto escala del Proyecto), el cual no es directamente controlable, tratándose de un mercado libre. Sin embargo, la legislación podría ayudar a abrir el mercado local y el mercado internacional y provocar mayor concurrencia y competitividad.

METRO DE MEDELLÍN realizó una serie de consideraciones en este sentido, y la necesidad del compromiso y apoyo del Gobierno Nacional. Puso como ejemplo la posibilidad de reducción del costo energético, mediante la reducción de impuestos. También sugirió posibles economías de escala en suministradores y proveedores uniendo esfuerzos entre METRO DE MEDELLÍN y METRO DE BOGOTÁ.

2.4 Comentarios específicos del Distrito realizados posteriormente al Taller

A través de la FDN y el IDU, y presentados en varias reuniones mantenidas en las semanas posteriores a la realización del Taller¹, el Distrito facilitó unos comentarios a las 49 ideas aportadas y evaluadas por SENER (48 en el Entregable n° 3), para tener en diferente consideración en el presente Informe Final. Como resumen:

- a) Se aceptaron las ideas (22) que se refieren especialmente a aspectos constructivos u operativos y no suponen apenas pérdida de funcionalidad ni efectos colaterales negativos apreciables:
 - Obra civil y arquitectura: VIA-1, TUN-1, TUN-2, TUN-3, EST-1, EST-6, EST-7bis, EST-10, EST-11, EST-12, EST-13, EST-15.
 - Sistemas: COM-1, SEÑ-1, PCO-1, PSD-2, PSD-3, ENE-1, ENE-2.
 - Operación: OPX-2, OPX-3, MOP-3.
- b) Se dudó de la oportunidad de algunas ideas (13), por diversas razones (técnicas, o aquellas cuyos ahorros en CAPEX son de difícil control y/o que dependen de la implementación de la PLMB, de los TdR, del mercado internacional y del modelo de explotación):
 - Constructivas: VIA-2, POZ-1.
 - Funcionales: EST-7, al menos parcialmente.
 - Mercado internacional: MTR-1.
 - Modelo implementación y explotación: MTR-2, SEÑ-2, PTC-1, PTC-2, PSD-1, OPX-1, OPX-4, MOP-2, MOP-4.
- c) No se consideraron oportunas las ideas (14) que afectan más a la demanda, a la funcionalidad y a los efectos colaterales considerados como muy negativos en algunos casos (regeneración urbana y social, intrusión visual, pérdida de captación de valor), o bien porque su implementación puede implicar importantes inconvenientes técnicos (constructivos o de explotación), jurídicos y normativos:
 - Tramos en viaducto: CON-1.
 - Reubicación de Talleres y Cochera: PTC-3.
 - Supresión de algunas estaciones: EST-2, EST-3, EST-4, EST-5.
 - Ejecución diferida de vestíbulos y accesos: EST-8, EST-9 si no se trata de supresión definitiva
 - Desplazamiento ubicación estaciones: EST-16.
 - Otras no oportunas técnicamente: MOP-1, MTR-3, EST-14, TUN-4, POZ-2.

La suma de los ahorros en CAPEX de las 22 ideas aceptadas del grupo a) ascendía a **829.031 MCOP (7,7% del costo de ejecución de la obra)**, según suma directa de las valorizaciones de las ideas, realizadas en el *workshop*.

¹ En una de estas reuniones SENER sugirió y fue aceptada inicialmente una 49ª idea (EST-7bis), consistente en reducir hasta 1 m (0,50 m el hueco de pared falsa por lado) la caja de las estaciones tipos 1 y 2, reorganizando elementos estructurales y adosados a los hastiales laterales (acercar a éstos y “quebrar” las escaleras fijas, ajustar la viga riostra de las pantallas, reorganizar el paso de instalaciones y conductos por el hueco de la pared falsa de la mitad inferior del nivel de andenes) sin reducción efectiva de la anchura útil de los andenes.

3 PLANTEAMIENTO DEL PRESENTE INFORME FINAL

En base al Entregable n° 3 (ideas evaluadas y presentadas por SENER), a los comentarios surgidos durante la presentación de resultados del Taller en Bogotá D.C., a los recibidos con posterioridad por parte del Distrito y a la información adicional recibida a través de la FDN, se ha redactado el presente Informe, en el que se presenta una serie de propuestas y recomendaciones no vinculantes, y que ofrecen oportunidades de ahorro en CAPEX y OPEX, si bien la decisión final compete únicamente a los decisores, habiendo sido presentadas para cada una de las propuestas, sus ventajas e inconvenientes principales, con objeto de ayudar a la toma de dichas decisiones.

Se insiste en el carácter no vinculante del presente informe, habida cuenta que existen otros factores y aspectos que afectan al proceso y que sobrepasa el alcance del presente Estudio, lo que puede hacer variar la decisión final en la consideración de algunas de las ideas. Pero se debían plantear, al ser objeto de la IdV, partiendo siempre del diseño y los criterios del DBA y no de ideas preconcebidas o ajenas al mismo, con apoyo de una metodología que trata de objetivarlas, sin tomar partido por ninguna idea en especial. Algunas ideas han sido desechadas por aportar incremento de valor inapreciable o incluso negativo, y alguna otra ha aparecido en la fase de desarrollo de resultados del taller. El tratamiento de todas las ideas ha sido de forma diferenciada:

3.1 Propuestas de ideas agregadas

En primer lugar, en todas aquellas ideas que ha sido posible determinar la relación incremento de funcionalidad/incremento de costo con claridad y de forma acotada (normalmente en más), junto con su monto económico (normalmente en menos), se han considerado de forma agregada, para aprovechar posibles sinergias.

Este primer grupo de “ideas” formando “propuestas” es el núcleo de la IdV y, como tal, se han desarrollado con mayor detenimiento mediante una metodología explicada en el apartado siguiente (ap. 4), y que ha permitido cuantificar de manera más precisa tanto el Incremento de Valor aportado al Proyecto, como las variaciones funcionales y de costos sobre el mismo. Hay que advertir que los precios unitarios empleados para determinar las variaciones de costes (CAPEX y OPEX) son los del Diseño Básico Avanzado redactado por el Consorcio CL1.

En el ap. 5, se han definido **9 propuestas de ideas agregadas**, las cuales pueden agregarse, a su vez, entre sí.

3.2 Propuestas relativas a la ejecución por fases

Algunas de las ideas surgidas en el Taller de IdV que hacen referencia a la ejecución por fases pueden ser consideradas en mayor o menor medida, de forma independiente, en estudios posteriores. El objetivo fundamental es laminar la inversión y adaptar mejor la oferta a la demanda.

En el cómputo total del ciclo de vida completo, el CAPEX puede aumentar ligeramente, si bien en los costes financieros derivados de la obtención de recursos y, en general en el OPEX resultante, es posible alcanzar ahorros importantes con adecuados modelos de explotación, contrarrestando posibles sobrecostos de ejecución. En otros casos existe trasvase de CAPEX a OPEX, que conviene analizar para alcanzar un adecuado equilibrio.

En el ap. 6, se han definido hasta **5 propuestas de ideas relativas a la ejecución por fases**. También se han planteado diferentes propuestas de **ejecución por tramos**, para reducir la necesidad de recursos iniciales.

3.3 Propuestas relativas a los precios unitarios y al mercado de la construcción

Este conjunto de ideas o propuestas, si bien pueden ser “monetizables”, no se han incluido entre las del primer grupo, pues están sujetas a la situación particular del mercado local y del mercado internacional, y a la coyuntura mundial. Se analiza con profusión en el ap. 7 el mercado actual de la construcción, la incidencia en el costo de la obra y se indican posibles ahorros, en una amplia horquilla, si bien con cierto riesgo de volatilidad.

3.4 Propuestas relativas al modelo de implementación y explotación de la PLMB

Por último, en el ap. 8 se incluyen unas recomendaciones para tener en consideración en los TdR, según se estructure la PLMB y sus modelos de financiación y de explotación. Algunas ideas serán potenciadas de manera diferente en función de dichos modelos, por lo que su consideración, según las circunstancias, será desigual.

4 METODOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA DE VALOR DE LA PLMB

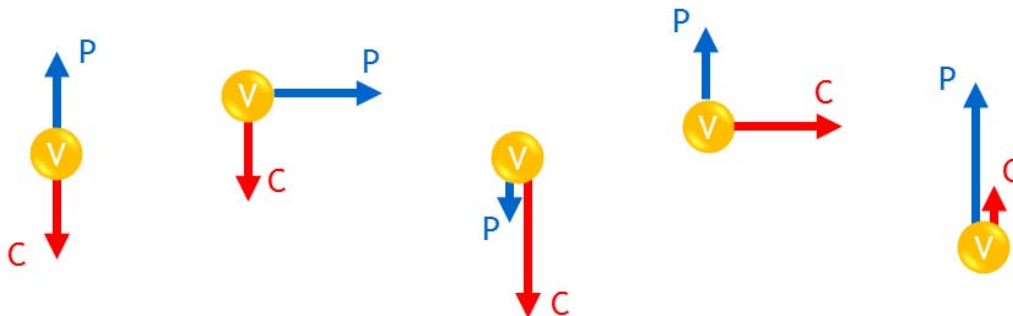
4.1 Incremento de Valor

El objetivo de la Ingeniería de Valor es analizar posibles oportunidades o propuestas que se pueden implementar sobre un diseño realizado, para obtener un Valor superior del mismo, entendiendo “Valor” como la relación existente entre la función o funciones (prestaciones) del Proyecto y el costo (recursos) que supone su ejecución, en todo su ciclo de vida:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Función}}{\text{Costo}}$$

Por lo tanto, el concepto **“Valor” V** indica el grado de eficiencia de los recursos invertidos en el Proyecto, para alcanzar de forma óptima la función para la cual va a ser creado. Es decir, expresa qué tan eficiente o “rentablemente” se invierten una serie de recursos (normalmente monetarios o al menos medibles de alguna manera) para alcanzar unos objetivos concretos materializado mediante un Proyecto.

Este cociente puede crecer o decrecer de diferentes maneras. De las 9 posibles relaciones teóricas entre el numerador y el denominador, sólo las 5 siguientes posibilitan un Incremento positivo de Valor del Proyecto:



P = Performance (prestaciones/funciones)
C = Cost (costo/recursos empleados)

Para el caso concreto del Diseño Básico Avanzado de la PLMB redactado por el Consorcio CL1, el objetivo principal es:

Satisfacer a la demanda de transporte de Bogotá dentro de unos parámetros definidos de calidad y seguridad

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

que se concreta, como se verá más adelante, mediante una serie de funciones (P) y unos costos (C) necesarios para alcanzar tales funciones, teniendo en cuenta el ciclo de vida del Proyecto (ejecución y explotación).

Normalmente, procurando una reducción del costo (manteniendo o mejorando las funciones) o un aumento de las funciones (manteniendo o reduciendo el costo), siempre se añadirá Valor al Proyecto. La discusión existe cuando una determinada propuesta implica una de las dos situaciones siguientes:

- la reducción de los recursos se realiza a costa de una pérdida de prestaciones
- el aumento de prestaciones se realiza con un incremento de recursos

Si bien se aplica a los 5 casos, se desarrolla la siguiente formulación, con el objeto de determinar si la propuesta en las que se da una de estas dos circunstancias, implica un incremento positivo o un incremento negativo de valor (según la concepción expresada anteriormente), respecto del Diseño de referencia de CL1:

Determinación del Incremento de Valor

1.- Se define el “Valor inicial del Proyecto” como:

$$V_i = P / C$$

(P: prestaciones del Proyecto; C: costo del Proyecto)

2.- Para disponer de un valor único de referencia, “normalizamos” este Valor inicial:

$$V_{in} = 1$$

Por lo tanto, $P = C$ (cada uno, con sus unidades). Así, un incremento de valor se referirá respecto a ese valor unitario inicial de referencia.

3.- El “Valor final” se calcula como:

$$V_f = (P + \Delta P) / (C + \Delta C)$$

4.- Y con el objetivo de compararlo con el valor inicial normalizado, también determinamos el “Valor final normalizado” dividiendo numerador y denominador por $P (=C)$:

$$V_{fn} = (P/P + \Delta P/P) / (C/C + \Delta C/C) = (1 + \Delta P/P) / (1 + \Delta C/C)$$

5.- Como se verá más adelante, por los pesos y el puntaje que se ha considerado en la evaluación de las propuestas, los incrementos máximos de P ó C alcanzan el valor $P = C = +5$ o -5 , así que, al normalizar estos valores incrementales, se obtiene:

$$V_{fn} = (1 + \Delta P/5) / (1 + \Delta C/5)$$

Esto quiere decir que las prestaciones P y el costo C iniciales tienen valor “5”.

6.- Por lo tanto, el Incremento de valor que aporta la propuesta (valor normalizado) es:

$$\Delta V_n = V_{fn} - V_{in} = (1 + \Delta P/5) / (1 + \Delta C/5) - 1$$

Se puede comprobar fácilmente que, por ejemplo, una propuesta hipotética que implique un costo “mitad” ($\Delta C = -2,5$) manteniendo las prestaciones ($\Delta P = 0$), da como resultado un valor final de hasta el “doble” del inicial. De igual manera, una propuesta hipotética que implique una duplicación de

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

su grado de prestaciones ($\Delta P=+5$) manteniendo el costo inicial ($\Delta C=0$), también supone un valor final de hasta el doble del valor inicial.

En definitiva, el ΔV_n que resulta de una propuesta determinada, representa el tanto por uno de incremento (positivo o negativo) de Valor que es capaz de proporcionar dicha propuesta al Proyecto.

Hay que tener en cuenta que el Valor final asignado a cada propuesta dependerá siempre del decisor, puesto que en la valoración de prestaciones y de algunos costos podría existir un cierto grado de subjetividad, al no ser directamente y fácilmente monetarizables. Se trata de aquellas funciones y costos relacionados con apreciaciones subjetivas (confort, servicio, valor del tiempo, etc), que no son uniformes ni universales en tiempo y espacio, y también con aspectos sociales y medioambientales.

Si bien todo puede llegar a ser monetarizable o, al menos, parametrizable (con mayor o menor concreción), al tener que relacionar estos costos de muy diferente naturaleza, siempre es necesario definir unos pesos que reflejen el diferente grado de importancia que a cada uno de ellos les quiera otorgar el decisor.

Por último, hay que puntualizar que el incremento de Valor de una propuesta formada por la agregación de dos o más ideas se determina “homogeneizando” la unidad de evaluación de cada una de las ideas, para tener en cuenta los diferentes ámbitos de las mismas y sus respectivos pesos en relación con el total.

4.2 Funciones (prestaciones) y Costos (recursos)

4.2.1 Funciones (prestaciones)

La Función Principal del Proyecto es “satisfacer una demanda de transporte público colectivo (TPC)” en un determinado corredor de la ciudad de Bogotá. La oferta de TPC establecida debe cumplir con dos **Funciones Subordinadas**, concretadas en estándares de Proyecto:

- Estándar de **Calidad**
- Estándar de **Seguridad**

El **Estándar de Calidad**, a su vez, se concreta en una serie de parámetros que definen la oferta y las prestaciones que los decisores establecen previamente, para definir los Criterios de Diseño al proyectista. Pueden emplearse “recomendaciones” o incluso normativa de otros lugares y países con experiencia en Metros, pero no todo es extrapolable, así que las condiciones locales pueden acabar fijando unos niveles propios.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que normalmente existe una relación bastante directa entre un Estándar de Calidad elegido y el coste que genera el Diseño correspondiente, así que, puede tener sentido analizar la posibilidad, aplicando las técnicas de Ingeniería de Valor, de asumir un nivel de calidad ligeramente inferior al establecido inicialmente, si con ello se consigue un importante ahorro en costes.

Por otra parte, en el **Estándar de Seguridad** apenas existe margen para fijar sus límites. Establecida la normativa que debe ser aplicada, propia o, en su defecto, de referencia internacional, deben cumplirse con todo rigor los mínimos (admisibles o excepcionales) que marque dicha normativa. En este caso, la normativa de referencia aplicada es la NFPA-130 americana, a cumplir en toda circunstancia.

Así, garantizando siempre en estos términos el Estándar mínimo de Seguridad en cualquier idea, los indicadores con los que se evaluará la variación de prestaciones (Calidad) de una determinada propuesta estarán ligados al movimiento de los trenes, por un lado, y al nivel o calidad del servicio prestado a los pasajeros, por otro:

- **Operación ferroviaria:** capacidad, velocidad, frecuencia, etc. de los trenes
- **Nivel de servicio:** accesibilidad, densidad, atención, confort, etc. de los pasajeros

Otras funciones, **secundarias o accesorias**, no directamente asociadas a la función principal “transporte”, pero sí consecuencia de ella, son consideradas y evaluadas junto con las anteriores (aunque con menor peso):

- por formar **parte intrínseca y derivada** de la actuación: “icono estético”, cohesión social generada.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- por un **sentido de oportunidad**: regeneración urbana, mejora de la vialidad y del tráfico de superficie.
- por **combinación de los dos anteriores**: potenciación de actividades económicas, tanto por la influencia de la accesibilidad del entorno, como por aquellas que se crean de la mano de la propia actuación.

4.2.2 Costos (recursos)

El principal costo objeto de Ingeniería de Valor es el de ejecución de las obras e instalaciones. Al presupuesto de la obra (Diseño Básico Avanzado de CL1: **10.786.363 MCOP**) se le debe añadir:

- Administración, Impuestos y Utilidades (25,5% AIU y 16% de IVA sobre la Utilidad) para Presup. Licitación
- Gastos adicionales del Distrito:
 - costo adquisición de predios y legalización (840.467 MCOP)
 - medioambiente, auscultación y asistencias técnicas diversas (5% aprox sobre Presup. Licitación)

Todo ello conforma el **CAPEX** inicial, que asciende a: **15.085.820 MCOP**. La variación de CAPEX total que supone cada propuesta se determina aplicando los mismos precios unitarios de CL1, así como los porcentajes empleados por el Consorcio para los conceptos anteriormente indicados, más el coste de adquisición de predios y legalizaciones. Es decir, **el CAPEX inicial total es 1,32 veces el costo directo de la obra, más el coste de los predios y legalizaciones**. Los cambios de divisa empleados han sido: **1 € = 2557,125 COP = 1,095 USD**.

En cuanto al **OPEX**, incluye los costos de Operación y los costos de Mantenimiento, por un lado, y los ingresos tarifarios e ingresos extra-tarifarios, por otro. Se mide en MCOP/año. Para su determinación, en el Diseño de CL1 se establecen 3 etapas desde el año de puesta en servicio (2021) hasta el año horizonte de diseño (2050):

- Entre 2021 y 2024
- Entre 2025 y 2029
- Entre 2030 y 2050

Se ha considerado costos anuales a peso constante, es decir, sin variación del IPC. El valor de referencia a calcular en cada propuesta es el correspondiente a la del **año de la puesta en servicio (2021)**. Éste es el que se empleará para determinar el equilibrio CAPEX&OPEX.

Finalmente, costos de naturaleza diversa, que se homogeneizarán mediante baremos (funciones de utilidad) cualitativos, para relacionarlos con los de naturaleza monetaria, son los **Efectos Colaterales**: sociales y medioambientales (temporales y definitivos).

Otros aspectos son considerados de forma cualitativa, y con relativa poca influencia en la IdV, pues deben mantenerse en el entorno de lo proyectado por CL1, como el **Plazo de ejecución** de obra y puesta en servicio de la Línea y los **Riesgos**, si bien el tratamiento de éstos últimos depende del modelo de contratación y explotación de la línea. En realidad, la mayor parte se resuelve con sobrecostos de seguros, que incrementan ligeramente el CAPEX y/o el OPEX, pero puede haber alguna parte no mitigable, que habrá de ser asumida, en su caso.

No se han considerado otros costos, no asociados a la Ingeniería de Valor y muy dependientes de los modelos de contratación y de gestión, como los financieros, las amortizaciones o las reposiciones.

4.3 Criterios, Funciones de utilidad y Pesos

Las funciones subordinadas se concretan en indicadores medibles que serán evaluados mediante funciones de utilidad. Aplicando los pesos sugeridos por SENER para este Estudio, por su experiencia y por la sensibilidad expresada por los decisores, se obtiene la contribución de la función subordinada al incremento de valor.

4.3.1 Operación

La Operación es la función subordinada que hace referencia directa al Sistema Ferroviario Metro. Conocidas:

- la geometría de la Línea (trazado y ubicación de estaciones),
- la demanda a satisfacer (y su distribución en el espacio y en el tiempo) en pax/HP-HV/sentido, y
- las prestaciones del material rodante (velocidad máxima, aceleración y deceleración de servicio),

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

esta función subordinada se rige por unos pocos parámetros, de los que es necesario tener conocimiento previo:

- Población potencialmente servida (habitantes en un radio de 500 m de los accesos).
- Oferta de transporte (plazas-km-hora) o Capacidad de la Línea (km-tren-hora) o Capacidad máxima de transporte (plazas/HP/sentido).
- Coeficiente de utilización o Rendimiento de la Línea (pax-km-hora utilizadas/plazas-km-hora ofrecidas)
- Frecuencia (seg⁻¹), o su inverso, el Intervalo (seg).
- Velocidad comercial “técnica” (km/h) o, alternativamente, Tiempo de vuelta en redondo (seg).
- Prestaciones técnicas del Sistema y Nivel de automatización.

Los indicadores “Población potencialmente servida” y “Rendimiento de la Línea” reflejan la eficiencia del diseño de la Línea, de la Operación y de los aprovechamientos horizontal y vertical de la oferta. Los indicadores “Frecuencia” y “Velocidad comercial” (1,5’ y 35,5 km/h en CL1) son los que describen mejor la Operación en su conjunto. Las “Prestaciones técnicas del Sistema” describen el grado de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de las instalaciones y equipos proyectados (incluido el material rodante).

La función subordinada “Operación” puede alcanzar un valor máximo de +5 y un valor mínimo de -5, según el incremento del conjunto de indicadores sea positivo o negativo, respectivamente. Un valor nulo representa que dicho conjunto se mantiene sensiblemente constante o “neutro” para la propuesta. Sólo se consideran los indicadores que tienen una variación significativa en al menos una propuesta de ideas agregadas (algunos son datos “fijos”), los cuales se combinan con diferentes pesos (con limitaciones inferiores de aceptabilidad):

Δ POBLACIÓN SERVIDA (N: nº estaciones)	PUNT.	VELOCIDAD COMERCIAL	PUNT.	NIVEL PRESTACIONAL	PUNT.
> +3,0·N %	5	> 40 km/h	5	Aumenta bastante o mucho	5
Entre +2,4·N y +3,0·N %	4	39-40 km/h	4	Aumenta poco	2,5
Entre +1,8·N y +2,4·N %	3	38-39 km/h	3	Variación irrelevante	0
Entre +1,2·N y +1,8·N %	2	37-38 km/h	2	Disminuye poco	-2,5
Entre +0,6·N y +1,2·N %	1	36-37 km/h	1	Disminuye bastante	-5
Entre -0,6·N y +0,6·N %	0	35-36 km/h	0	Peso relativo	0,25
Entre -0,6·N y -1,2·N %	-1	34-35 km/h	-1	Si disminuye mucho es inaceptable	
Entre -1,2·N y -1,8·N %	-2	33-34 km/h	-2		
Entre -1,8·N y -2,4·N %	-3	32-33 km/h	-3		
Entre -2,4·N y -3,0·N %	-4	31-32 km/h	-4		
Entre -3,0·N y -3,6·N %	-5	30-31 km/h	-5		
Peso relativo	0,50	Peso relativo	0,25		

< -3,6·N % es inaceptable < 30 km/h es inaceptable

Se proponen los pesos parciales indicados, y para el peso de la función “Operación”, un valor de 0,45.

4.3.2 Nivel de Servicio

El Nivel de Servicio hace referencia a las prestaciones dirigidas directamente a los usuarios del Metro, y a la relación de éstos con el Sistema:

- Accesibilidad (tiempo medio de acceso al sistema, hasta los andenes y hasta el interior del tren)
- Conectividad (tiempo de intercambio entre otras líneas y modos). General y para PMR
- Regularidad y fiabilidad de los elementos con los que interactúa
- Velocidad comercial “percibida por el usuario” (km/h), media entre dos estaciones (origen/destino)
- Movilidad: grado de ocupación o nivel de saturación (densidad) en diferentes áreas (pax/m²)
- Funcionalidad (recorridos, señalización e información general al pasajero)
- Confort (ventilación -velocidad del aire-, iluminación, condiciones higrométricas del aire, mobiliario y elementos electromecánicos)
- Atención al pasajero (personal, megafonía, interfonía, información directa personalizada)

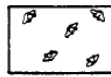

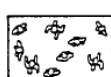
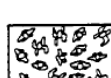
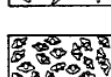

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Condiciones de salubridad (ventilación -renovaciones- y calidad del aire)
- Condiciones de mantenimiento y limpieza de los espacios públicos

Los indicadores que mejor definen el Nivel de Servicio al pasajero y que son objeto de análisis en la Ingeniería de Valor son: la “Accesibilidad”, el “Nivel de ocupación o Densidad de pasajeros” y el conjunto de conceptos que abarcan la “Funcionalidad y Nivel de confort” de los pasajeros:

El **Incremento de accesibilidad** (medida en unidades de tiempo, para considerar el desplazamiento horizontal y el desplazamiento vertical) representa una pérdida de funcionalidad para valores positivos del incremento, muy sensible a la percepción por parte del usuario. Este efecto disuasorio negativo sobre el pasajero debe ser contrarrestado, aunque sea parcialmente, mediante el diseño óptimo de las alimentadoras en superficie.

Por otra parte, normalmente las normativas y recomendaciones internacionales de referencia asocian el concepto de Nivel de Servicio (LoS) básicamente al “Nivel de ocupación” (o su valor inverso, m²/pax) de un determinado espacio público, categorizado por las letras de la A a la F (*fuentes: TCRP*):

	LEVEL OF SERVICE A Standing and free circulation through the queuing area possible without disturbing others within the queue.
	LEVEL OF SERVICE B Standing and partially restricted circulation to avoid disturbing others within the queue is possible.
	LEVEL OF SERVICE C Standing and restricted circulation through the queuing area by disturbing others is possible; this density is within the range of personal comfort.
	LEVEL OF SERVICE D Standing without touching is impossible; circulation is severely restricted within the queue and forward movement is only possible as a group; long-term waiting at this density is discomforting.
	LEVEL OF SERVICE E Standing in physical contact with others is unavoidable; circulation within the queue is not possible; queuing at this density can only be sustained for a short period without serious discomfort.
	LEVEL OF SERVICE F Virtually all persons within the queue are standing in direct physical contact with others; this density is extremely discomforting; no movement is possible within the queue; the potential for pushing and panic exists.

LOS	Average Pedestrian Area		Average Inter-Person Spacing	
	(ft ² /p)	(m ² /p)	(ft)	(m)
A	≥ 13	≥ 1.2	≥ 4.0	≥ 1.2
B	10-13	0.9-1.2	3.5-4.0	1.1-1.2
C	7-10	0.7-0.9	3.0-3.5	0.9-1.1
D	3-7	0.3-0.7	2.0-3.0	0.6-0.9
E	2-3	0.2-0.3	<2.0	<0.6
F	< 2	< 0.2	Variable	Variable

La aceptación de un nivel u otro puede depender del tiempo de ocurrencia de cada nivel: se pueden aceptar ciertos niveles de saturación puntual en un corto periodo de tiempo (cuarto de hora punta, situación degradada, etc), para evitar sobredimensionar los espacios, los cuales se suelen repercutir a todas las estaciones por igual.

Aplicando estos criterios en los diseños de CL1, el NdS en estaciones es siempre A, salvo alguna excepción. A efectos de valoración, SENER propone como valores de referencia límite asumibles en HP de 2050 en andenes:

- Nivel mínimo en HP y situación normal: **B** (≈ 1 pax/m²)
- Nivel mínimo en HP y situación degradada (pérdida de un intervalo: 50% trenes): **C** (<1,5 pax/m²)
- Nivel mínimo en HP y situación degradada (pérdida hasta 3 intervalos: 25% trenes): **D** (<3 pax/m²)

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Es importante hacer notar que se dimensiona la flota en HP con 6 pax/m² (NdS “F”) en el interior de los trenes.

Finalmente, las **Condiciones funcionales** que percibe el pasajero junto con el **Nivel de confort** en las instalaciones, son también “medidas” de esta función subordinada, que se tienen en cuenta en la Ingeniería de Valor. Son puntuadas con criterios cualitativos, en relación a la situación de partida del diseño de CL1.

La función subordinada “**Nivel de Servicio**”, como combinación ponderada de los indicadores anteriores, puede alcanzar un valor máximo de +5 y un valor mínimo de -5, según el incremento sea positivo o negativo. Un valor nulo representa que dicho conjunto se mantiene sensiblemente constante para la propuesta.

Incremento de ACCESIBILIDAD	PUNT.
> -40 seg	5
Hasta -40 seg	4
Hasta -30 seg	3
Hasta -20 seg	2
Hasta -10 seg	1
Irrelevante	0
Hasta +10 seg	-1
Hasta +20 seg	-2
Hasta +30 seg	-3
Hasta +40 seg	-4
< +40 seg	-5
Peso relativo	0,40

Valor ponderado usuario potencial

NIVEL DE OCUPACIÓN	PUNT.
Sube 2 niveles	5
Sube 1 nivel	2,5
Se mantiene el nivel	0
Baja 1 nivel	-2,5
Baja 2 niveles	-5
Peso relativo	0,40

Situación normal o degradada

FUNCIONALIDAD Y NIVEL DE CONFORT	PUNT.
Aumenta mucho	5
Aumenta poco	2,5
Variación irrelevante	0
Disminuye poco	-2,5
Disminuye mucho	-5
Peso relativo	0,20

Se proponen los pesos parciales indicados, y para el peso de la función “Nivel de Servicio”, un valor de **0,45**.

4.3.3 Funciones secundarias

Las funciones secundarias o accesorias que se han considerado para evaluar las propuestas aportadas son de diversa índole:

- Icono de referencia y **estética** arquitectónica de las estaciones y de sus accesos
- Integración y regeneración **urbana**
- Mejora de la **vialidad** (tráfico rodado y peatonal)
- Mejora del **transporte** (público y privado)
- Cohesión **social** (derivada de la función transporte y las relaciones que facilita entre poblaciones)
- Captación de **valor** (plusvalías) y potenciación de actividades económicas
- Calidad **medioambiental** (medio natural: reducción de polución atmosférica; medio social¹: reducción de enfermedades y accidentes)

Esta función puede alcanzar un valor máximo de +5 y un valor mínimo de -5, según el incremento del conjunto de indicadores sea positivo o negativo, respectivamente, según una percepción relativa respecto del diseño de CL1. Un valor nulo representa que dicho conjunto se mantiene sensiblemente constante para la propuesta.

Hay que advertir que, como en el caso de las funciones subordinadas, las funciones secundarias se mantienen en general invariables en la mayor parte de los indicadores, para cada propuesta presentada. Se resaltan únicamente aquellas que en cada caso varían específicamente y proporcionan un valor significativo (positivo o negativo) a la función correspondiente.

El peso adoptado en el presente Estudio para el conjunto de las “Funciones secundarias” es **0,10¹**.

¹ El peso relativamente bajo aplicado a este indicador no significa que no se valore la reducción de accidentes y la vida humana por encima de todo, sino que lo que se pretende expresar es que esta inversión no se realiza específicamente para ahorrar vidas humanas, sino para transportar personas de forma masiva, con un determinado nivel de seguridad. Esta mayor seguridad derivada del uso del Metro frente al tráfico rodado, es una consecuencia, no un fin en sí mismo.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

4.3.4 CAPEX & OPEX

La valoración de las variaciones de CAPEX y de OPEX, se ha realizado por el incremento relativo del coste total respecto del coste referencial de aquellas unidades o capítulos que afecta en cada una de las propuestas.

Para evaluar desde el punto de vista de Ingeniería de Valor los importes monetarios del Proyecto, se han calculado por separado y para cada Propuesta, los ahorros del CAPEX TOTAL y del OPEX del primer año de puesta en servicio del Metro (2021). Se han determinado los ahorros relativos, de acuerdo a los costes indicados en los estudios de CL1, y a continuación se ha calculado, también por separado, el porcentaje respecto del coste referencial, los cuales proporcionan una puntuación, para sendas variaciones, de acuerdo a una función de utilidad lineal escalonada, limitada por el costo inicial (CL1) del objeto de la propuesta:

INCREMENTO COSTE respecto del coste referencial (CL1)		PUNT.
-90%	-100%	-5
-80%	-90%	-4,5
-70%	-80%	-4
-60%	-70%	-3,5
-50%	-60%	-3
-40%	-50%	-2,5
-30%	-40%	-2
-20%	-30%	-1,5
-10%	-20%	-1
-5%	-10%	-0,5
Inapreciable		0
5%	10%	0,5
10%	20%	1
20%	30%	1,5
30%	40%	2
40%	50%	2,5
50%	60%	3
60%	70%	3,5
70%	80%	4
80%	90%	4,5
90%	100%	5

El ahorro en CAPEX o en OPEX de una propuesta implica puntuación negativa de “Costo”.

Los costos han sido valorados siempre mediante COP. Para la valoración de los equipos y suministros que probablemente serán importados desde el mercado europeo, norteamericano o incluso asiático, se han utilizado los siguientes cambios de divisa:

$$1 \text{ €} = 2557,125 \text{ COP (empleado por CL1)}$$

$$1 \text{ €} = 1,095 \text{ USD (media 1T-2015).}$$

El CAPEX TOTAL, como se ha indicado en apartados anteriores, se ha calculado como **1,32** veces el costo directo de la obra, más el coste de los predios y legalizaciones.

Según el apartado 4.2.2:

$$\text{CAPEX TOTAL} = 15.085.820 \text{ MCOP}$$

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

El OPEX que se evalúa en cada una de las ideas y propuestas presentadas corresponde al año de puesta en servicio de la Línea (2021). Por simplificar, el valor total del OPEX en todo el ciclo de vida se ha determinado a “peso constante” ($\Delta \text{IPC} = 0$) y con tasa de interés nula, para 30 años (2021-2050), a partir de los estudios de CL1:

- OPEX (2021-2024) = 158.995 MCOP/año x 4 años = 635.980 MCOP
- OPEX (2025-2029) = 176.124 MCOP/año x 5 años = 880.620 MCOP
- OPEX (2030-2050) = 227.738 MCOP/año x 21 años = 4.782.498 MCOP

OPEX TOTAL (2021-2050) = 6.299.098 MCOP

Bajo estos supuestos, se pueden establecer las siguientes relaciones simplificadas del proyecto de CL1:

OPEX TOTAL (2021-2050) = 40 x OPEX (2021)

CAPEX TOTAL = 100 x OPEX (2021)

CAPEX TOTAL = 2,5 x OPEX TOTAL (2021-2050)

Así pues, se puede afirmar que toda inversión que se realice sólo en aras a reducir el OPEX de forma eficiente, la inversión debe limitarse a un importe máximo de 100 veces el ahorro del OPEX inicial que se espera obtener por realizar tal inversión. Y viceversa, toda propuesta que suponga un ahorro del CAPEX, sólo resulta eficiente si este ahorro es superior a 100 veces el aumento del OPEX inicial que supone dicha propuesta.

Se otorga al conjunto de la variación de costos CAPEX&OPEX, el 90% del peso de la evaluación total del “costo”, por ser el principal objetivo de la IdV. El 10% restante se reserva para otros costos, que se concretan en 4.3.5.

En cuanto a la distribución del peso 0,90 entre CAPEX y OPEX, éste se determina de acuerdo a la proporción de ahorro entre sí que supone cada caso: 1 COP de ahorro en CAPEX es equivalente a 2,5 COP de ahorro en OPEX TOTAL y viceversa, por lo tanto, los respectivos pesos mantendrán esta proporción:

- Peso para el indicador CAPEX: $0,9 \times 2,5 / [2,5 + 1,0] = \underline{0,64}$
- Peso para el indicador OPEX: $0,9 \times 1,0 / [2,5 + 1,0] = \underline{0,26}$

4.3.5 Efectos colaterales

Los costos de los efectos colaterales, normalmente soportados por el conjunto de la población (incluso por la población que no se beneficiará directamente del Proyecto) y al entorno inmediato, se pueden agrupar en:

a) Afecciones permanentes, en general, medioambientales:

- ruidos y vibraciones
- plantaciones
- alteración nivel freático
- arqueología

b) Afecciones temporales durante la obra, en general, sociales:

- desvíos de tráfico y congestiones viarias
- molestias a los transeúntes: polvo, restricciones a la movilidad
- oposición social a las expropiaciones

c) Afecciones temporales pero que pueden llegar a ser permanentes:

- Afecciones sobre negocios y comercios del entorno con mucha presencia en la vía pública, que pueden provocar lucros cesantes
- Idem al anterior, pero que por su intensidad puede provocar el cierre de negocios

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Es necesario diferenciar un “Efecto colateral” de una “Funcionalidad secundaria”. El primero es un costo “necesario”, más o menos mitigable y con una connotación negativa, y el segundo es un valor, en principio positivo, que aporta a la implementación del Proyecto, como algo derivado e inherente al mismo.

Los costos asociados para mitigar los efectos colaterales se incluyen en el CAPEX y en el OPEX, si bien no se incluyen ningún tipo de coste derivado de indemnizaciones o compensaciones que no figuren en el DBA de CL1. En este apartado se evalúan los efectos colaterales residuales no totalmente mitigados y que debe ser asumido.

La valorización realizada es cualitativa, mediante la agrupación de indicadores relacionados con los aspectos mencionados, en comparación con la situación definida en los diseños de CL1.

Este “costo” puede alcanzar un valor máximo de +5 y un valor mínimo de -5, según el incremento del conjunto de indicadores sea positivo o negativo, según una percepción relativa respecto del diseño de CL1. Un valor nulo representa que dicho conjunto se mantiene sensiblemente constante o “neutro” para la propuesta.

Como se ha comentado en el epígrafe anterior, el peso adoptado para el costo de “Efecto colateral” es **0,10**.

4.4 Evaluación de las propuestas

Se han creado unas fichas de evaluación de las propuestas que de forma automática determina el incremento de valor sobre el Proyecto, a partir de las valoraciones otorgadas de incremento de función y de incremento de costo, según los baremos y pesos fijados en los apartados anteriores:

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P
	1. OPERACIÓN		0,00	0,45	0,00
	2. NIVEL SERV.		0,00	0,45	0,00
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00
	TOTAL		0,00	1,00	0,00
	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P
	1. CAPEX		0,00	0,64	0,00
	2. OPEX		0,00	0,26	0,00
	3. COLATERALES		0,00	0,10	0,00
	TOTAL		0,00	1,00	0,00

El sumatorio de las cantidades I x P de las FUNCIONES, por un lado, y de los COSTOS, por otro, se introducen en la ecuación indicada en el apartado 4.1:

$$\Delta V_n = V_{fn} - V_{in} = (1 + \Delta P/5) / (1 + \Delta C/5) - 1$$

para determinar el Incremento de Valor relativo a los diseños de CL1:

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	0,00	SUMA ALGEBRAICA
		0,00
COSTO	0,00	INCREMENTO VALOR
		0,00
UNIDAD DE EVALUACIÓN**		

También se expresa en cada ficha la “suma algebraica” de los valores individuales de “función” y “costo” que, en general, existe una cierta correlación con el “incremento de valor”.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

5 PROPUESTAS DE IDEAS AGREGADAS

En el Apéndice 3 se incluyen en formato “ficha” todas y cada una de las **9 propuestas de IdV** a partir de la agregación de **25 de las 49 ideas simples**, (48 presentadas en el taller, más una aparecida más tarde). El criterio de agregación es el de agrupación temática y posibles sinergias entre ellas.

Estas propuestas no son vinculantes. Tampoco es necesario el cumplimiento de todas y cada una de ellas, si bien algunas combinaciones proporcionan sinergias interesantes. En un principio, los cálculos y estimaciones de cada propuesta podrían ser diferentes si se consideraran o no a la vez el resto de propuestas. Pero éste último ha sido, precisamente, el criterio seguido en los cálculos realizados para la redacción de este Informe, es decir, que pueden agregarse indistintamente entre sí, y **el ahorro total se puede obtener como suma de ahorros parciales de cada propuesta**. Las propuestas de ideas agregadas que se han considerado finalmente han sido:

PROPUESTAS			IDEAS AGREGADAS				
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15		
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6	
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4			
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1			
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12			
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13		
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1				
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3		

Se han combinado hasta 25 ideas. No se han empleado 24 de las 49 ideas para formar las propuestas de ideas agregadas, por las siguientes razones:

- a) Ideas desestimadas (9):
 - Por razones técnicas y de implementación: CON-1, PTC-3, EST-7bis, MOP-1 y MTR-3.
 - Por pérdida importante de satisfacción de la demanda: EST-2, EST-3, EST-4 y EST-5.
- b) Ideas posibles, pero de oportunidad dudosa o incierta (10):
 - Por razones técnicas: EST-11, EST-14, TUN-4 y POZ-2.
 - Por pérdida importante de satisfacción de la demanda: EST-16 (puede atribuirse otra funcionalidad, que más adelante se explica).
 - Por ahorros inapreciables de CAPEX y OPEX: OPX-4 y MTR-2.
 - Por ahorros estimados de diferente magnitud, pero con alto grado de incertidumbre, sometidos al mercado internacional y local, fuera del control del presente Estudio: MTR-1, SEÑ-2 y PTC-2.
- c) Ideas posibles, en mayor o menor grado, que no implican ahorro neto de inversión total, pero se consideran (en apartado posterior), con afección inicial temporal, para la Ejecución por Fases (5):
 - Afecta a la accesibilidad a las estaciones: EST-8 y EST-9 (si no se considera supresión definitiva).
 - Afecta a la operación ferroviaria y a la oferta de transporte: MOP-2.
 - Afecta al nivel de disponibilidad de los sistemas: ENE-2.
 - Afecta al nivel de disponibilidad de los talleres de 2º y 3er nivel: PTC-1.

Algunas ideas están condicionadas a la estructuración de la operación y al modelo operacional, como se comenta más adelante, indicando las oportunidades para ser implementadas, así como sus posibles ahorros.

A continuación se describen y desarrollan cada una de las propuestas presentadas.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

5.1 Propuesta 1 - OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE ESTACIONES

Esta propuesta consiste en la agrupación de las ideas desarrolladas en el *workshop*:

- **EST-7:** Ajuste de anchura de andenes y de la caja de la estación.
- **EST-10:** Ajuste de longitud de las estaciones tipo túnel y redistribución de cuartos técnicos.
- **EST-15:** Ajuste del diseño de las contrabóvedas de estaciones profundas

La aplicación de estas 3 ideas en el conjunto de las estaciones -en aquellas que sea posible y oportuno- permite una optimización del diseño, por la cual, con inapreciables pérdidas de funcionalidad, que más adelante se concretan, es posible un importante ahorro de CAPEX y ligeramente también de OPEX.

La reducción de las dimensiones generales de las estaciones aligera los costes asociados a la superficie, como la reposición de los servicios afectados y las molestias a la ciudad (polvo, ruidos, limitaciones a la movilidad, desvíos de tráfico), ligado también a una reducción en el plazo de ejecución de tales estaciones.

Estas reducciones de dimensiones obligan a redistribuir los locales técnicos y la disposición de los conductos en cámaras bufas y falsos techos, pero en ningún caso se prevé que haya de haber pérdida de los espacios necesarios para alojar los equipos e instalaciones de las estaciones.

En cuanto a los espacios ocupados por los viajeros, como vestíbulos y andenes, sí se produce un aumento de densidad de ocupación, que se manifiesta ligeramente en algún caso. Dado que en los vestíbulos, las áreas de paga y no paga tienen mayor flexibilidad de disposición, éstas no se han de ver afectadas en cuanto a Nivel de Servicio.

Con el fin de tener en cuenta que simultáneamente se adopten las demás propuestas presentadas en este informe (en concreto las Propuestas N°2 y N°5), se han modificado, respecto a lo indicado en el *workshop*, las estaciones en donde son aplicables cada una de las ideas que integran esta propuesta.

Adicionalmente, en las estaciones Avenida 68, Santander, Hortúa, San Victorino y Avenida Chile, se ha descartado la idea EST-7 porque su aplicación daría lugar a que se alcanzara en andenes un nivel de servicio no admisible en situación de operación degradada (50% y 25% de los trenes). En la siguiente tabla se indica cuáles son las ideas de aplicación a cada una de las estaciones de la línea:

Nº	Estación	EST-7	EST-10	EST-15
1	Portal de las Américas	X	X	X
2	Casablanca	Se suprime según Propuesta N° 2		
3	Villavicencio	X	X	X
4	Palenque	X	X	X
5	Kennedy	X	X	X
6	Boyacá	X	X	X
7	1º Mayo	X	X	X
8	Avenida 68		X	X
9	Rosario	X	X	X
10	NQS	X	X	X

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Nº	Estación	EST-7	EST-10	EST-15
11	Santander		X	X
12	Nariño	X	X	X
13	Hortúa		X	X
14	S. Victorino		X	X
15	Lima	X	X	X
16	La Rebeca	X	X	X
17	P. Nacional	X	X	X
18	Gran Colombia	Se considera en la Propuesta N° 5		
19	Marly	Se suprime según Propuesta N° 2		
20	Sto. Tomás	X		
21	Pza. Lourdes	X		
22	Av. Chile			
23	Calle 85	X		
24	Parque 93	X		
25	Calle 100	X		
26	Usaquén	X		
27	Calle 127	X		

No se aplica la presente Propuesta en las estaciones de Casablanca y Marly, al suprimirse, de acuerdo con la Propuesta N°2. En el caso de la estación Gran Colombia, ésta se modifica, de acuerdo con la Propuesta N°5, para pasar de andén central a andenes laterales. La estación modificada que se plantea como alternativa para esta estación tendría una anchura optimizada (de acuerdo con la idea EST-7) y la contrabóveda a cota adecuada para permitir su cruce con TBM. La valoración de esta estación optimizada se incluye en la Propuesta N°5 y, por ello, no se valora la optimización de Gran Colombia en esta Propuesta N°1.

Atendiendo a las verificaciones realizadas en relación al nivel de servicio en andenes (tabla página siguiente), se considera que en todas las estaciones, excepto en las 5 ya mencionadas, es posible reducir los andenes de 4.5 m de ancho a 3 m, lo cual supone reducir el ancho de la estación en 3 m (EST-7) a lo largo de ambos andenes.

Por otra parte, debido a la configuración estructural interior, no es posible reducir el ancho de la cámara bufa en cada uno de los hastiales de la estación a lo largo de los andenes, en favor del espacio interior, debido a la rigidez de las escaleras mecánicas en relación a su posición respecto del hueco del forjado (EST-7 bis).

En las estaciones tipo túnel, se ha considerado que la longitud de estación podría reducirse por redistribución de los cuartos técnicos del nivel de andén a los niveles de pre-vestíbulo y vestíbulo (EST-10). Se ha estimado prudentemente esta reducción de longitud hasta 24 (tipo 1) o 27 m (tipo 2). En las estaciones profundas se ha observado que las contrabóvedas podrían elevarse 1 m sin modificar la cota de carril de las mismas, lo cual implica también un ahorro en el CAPEX de las mismas (EST-15).

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

ANDENES DISEÑO BÁSICO AVANZADO

ANDENES REDUCIDOS (-1,50m)

C o inf. D o inf. E o inf.

ESTACIÓN	ZONA ESTACIÓN	AREA (m²)	OCUPANTES POR FRECUENCIA (1,5MIN)	m²/PAX	NIVEL DE SERVICIO (HP Normal)	NIVEL DE SERVICIO (Degradado 50% trenes)	NIVEL DE SERVICIO (Degradado 25% trenes)	Reducción anchura de andenes	Reducción superficie de andenes	AREA reducida de andenes (m²)	m²/PAX	NIVEL DE SERVICIO (HP Normal)	NIVEL DE SERVICIO (Degradado 50% trenes)	NIVEL DE SERVICIO (Degradado 25% trenes)	C o inf. D o inf. E o inf.			
															C o inf.	D o inf.	E o inf.	
Calle 127	27	ANDÉN1	1.441,31	584,82	2,46	A	A	D	1,50	225,00	1216,31	2,08	A	B	D			
	27	ANDÉN2	1.441,31	706,05	2,04	A	B	D	1,50	225,00	1216,31	1,72	A	C	D			
Usaquén	26	ANDÉN1	735,92	36,99	19,90	A	A	A	1,50	225,00	510,92	13,81	A	A	A			
	26	ANDÉN2	735,92	47,25	15,58	A	A	A	1,50	225,00	510,92	10,81	A	A	A			
Calle 100	25	ANDÉN1	645,15	237,87	2,71	A	A	D	1,50	225,00	420,15	1,77	A	C	D			
	25	ANDÉN2	645,15	172,53	3,74	A	A	B	1,50	225,00	420,15	2,44	A	A	D			
Parque 93	24	ANDÉN1	645,39	204,39	3,16	A	A	C	1,50	225,00	420,39	2,06	A	B	D			
	24	ANDÉN2	645,15	144,72	4,46	A	A	B	1,50	225,00	420,15	2,90	A	A	C			
Calle 85	23	ANDÉN1	645,15	279,18	2,31	A	B	D	1,50	225,00	420,15	1,50	A	C	D			
	23	ANDÉN2	645,15	221,13	2,92	A	A	C	1,50	225,00	420,15	1,90	A	B	D			
Av. Chile	22	ANDÉN1	647,61	532,98	1,22	A	D	D	1,50	225,00	422,61	0,79	C	D	E			
	22	ANDÉN2	647,61	359,10	1,80	A	C	D	1,50	225,00	422,61	1,18	B	D	E			
Pza Lourdes	21	ANDÉN1	739,62	103,95	7,12	A	A	A	1,50	225,00	514,62	4,95	A	A	A			
	21	ANDÉN2	739,62	58,32	12,68	A	A	A	1,50	225,00	514,62	8,82	A	A	A			
Sto Tomás	20	ANDÉN1	645,63	182,25	3,54	A	A	C	1,50	225,00	420,63	2,31	A	B	D			
	20	ANDÉN2	645,63	124,74	5,18	A	A	A	1,50	225,00	420,63	3,37	A	A	C			
P. Nacional	17	ANDÉN1	645,00	217,89	2,96	A	A	C	1,50	225,00	420,00	1,93	A	B	D			
	17	ANDÉN2	645,63	176,04	3,67	A	A	B	1,50	225,00	420,63	2,39	A	B	D			
La Rebeca	16	ANDÉN1	644,58	282,96	2,28	A	B	D	1,50	225,00	419,58	1,48	A	C	D			
	16	ANDÉN2	644,24	258,93	2,49	A	A	D	1,50	225,00	419,24	1,62	A	C	D			
Uma	15	ANDÉN1	645,70	225,72	2,86	A	A	C	1,50	225,00	420,70	1,86	A	B	D			
	15	ANDÉN2	645,61	199,26	3,24	A	A	C	1,50	225,00	420,61	2,11	A	B	D			
San Victorino	14	ANDÉN1	645,64	309,69	2,08	A	B	D	1,50	225,00	420,64	1,36	A	D	D			
	14	ANDÉN2	645,53	262,44	2,46	A	A	D	1,50	225,00	420,53	1,60	A	C	D			
Hortúa	13	ANDÉN1	645,70	362,61	1,78	A	C	D	1,50	225,00	420,70	1,16	B	D	E			
	13	ANDÉN2	645,61	282,15	2,29	A	B	D	1,50	225,00	420,61	1,49	A	C	D			
Nariño	12	ANDÉN1	645,53	139,05	4,64	A	A	B	1,50	225,00	420,53	3,02	A	A	C			
	12	ANDÉN2	645,53	106,65	6,05	A	A	A	1,50	225,00	420,53	3,94	A	A	B			
Santander	11	ANDÉN1	643,93	373,68	1,72	A	C	D	1,50	225,00	418,93	1,12	B	D	E			
	11	ANDÉN2	643,93	126,09	5,11	A	A	A	1,50	225,00	418,93	3,32	A	A	C			
NQS	10	ANDÉN1	748,03	208,17	3,59	A	A	C	1,50	225,00	523,03	2,51	A	A	D			
	10	ANDÉN2	748,03	180,36	4,15	A	A	B	1,50	225,00	523,03	2,90	A	A	C			
Rosario	9	ANDÉN1	746,50	135,00	5,53	A	A	A	1,50	225,00	521,50	3,86	A	A	B			
	9	ANDÉN2	746,50	67,50	11,06	A	A	A	1,50	225,00	521,50	7,73	A	A	A			
Avenida 68	8	ANDÉN1	826,45	568,35	1,45	A	C	D	1,50	225,00	601,45	1,06	B	D	E			
	8	ANDÉN2	826,45	202,23	4,09	A	A	B	1,50	225,00	601,45	2,97	A	A	C			
1° de Mayo	7	ANDÉN1	746,50	12,15	61,44	A	A	A	1,50	225,00	521,50	42,92	A	A	A			
	7	ANDÉN2	746,50	12,15	61,44	A	A	A	1,50	225,00	521,50	42,92	A	A	A			
Boyacá	6	ANDÉN1	742,11	237,06	3,13	A	A	C	1,50	225,00	517,11	2,18	A	B	D			
	6	ANDÉN2	747,40	159,57	4,68	A	A	B	1,50	225,00	522,40	3,27	A	A	C			
Kennedy	5	ANDÉN1	746,50	99,09	7,53	A	A	A	1,50	225,00	521,50	5,26	A	A	A			
	5	ANDÉN2	746,50	82,35	9,06	A	A	A	1,50	225,00	521,50	6,33	A	A	A			
Palenque	4	ANDÉN1	746,50	172,80	4,32	A	A	B	1,50	225,00	521,50	3,02	A	A	C			
	4	ANDÉN2	746,50	5,67	131,66	A	A	A	1,50	225,00	521,50	91,98	A	A	A			
Villavicencio	3	ANDÉN1	746,50	247,05	3,02	A	A	C	1,50	225,00	521,50	2,11	A	B	D			
	3	ANDÉN2	746,50	56,16	13,29	A	A	A	1,50	225,00	521,50	9,29	A	A	A			
P. Américas	1	ANDÉN1	745,22	188,46	3,95	A	A	B	1,50	225,00	520,22	2,76	A	A	D			
	1	ANDÉN2	745,22	74,52	10,00	A	A	A	1,50	225,00	520,22	6,98	A	A	A			

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

A continuación se resumen las ventajas e inconvenientes correspondientes a las ideas expuestas:

Idea EST-7	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene un nivel de servicio dentro de los límites admisibles en el año horizonte, según situación normal o degradadas. ▫ Se reduce la afección urbana durante la fase de construcción. ▫ Se reduce el plazo de construcción de las estaciones, lo cual podría traducirse en una reducción del plazo de obra si la construcción de éstas se sitúa en el camino crítico. ▫ Aumenta la distancia a fachadas → disminución barreras de protección de edificios. ▫ Ahorro en CAPEX y OPEX. 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Ligera reducción en el confort del usuario en situación de operación degradada en HP de algunas estaciones.

Idea EST-10	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad de la línea y el nivel de servicio en las estaciones. ▫ Se reduce la afección urbana durante la fase de construcción. ▫ Se reduce el plazo de construcción de las estaciones, lo cual podría traducirse en una reducción del plazo de obra si la construcción de éstas se sitúa en el camino crítico. ▫ Ahorro en CAPEX y OPEX. 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ No se han identificado.

Idea EST-15	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad de la línea y el nivel de servicio en las estaciones. ▫ Permite el arrastre de las TBM a lo largo de las estaciones sin necesidad de disponer una contrabóveda provisional. ▫ Se reduce el plazo de construcción de las estaciones, lo cual podría traducirse en una reducción del plazo de obra si la construcción de éstas se sitúa en el camino crítico. ▫ Ahorro en CAPEX 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ No se han identificado.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

PROPUESTA N° 1 (Ideas agregadas EST-7, EST-10 y EST-15)	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad de la línea y un nivel de servicio adecuado en las estaciones. ▫ Se reduce la afección urbana durante la fase de construcción. ▫ Se reduce el plazo de construcción de las estaciones, lo cual podría traducirse en una reducción del plazo de obra si la construcción de éstas se sitúa en el camino crítico. ▫ Aumenta la distancia a fachadas → disminución barreras de protección de edificios. ▫ Permite el arrastre de las TBM a lo largo de las estaciones sin necesidad de disponer una contrabóveda provisional. ▫ Ahorro en CAPEX: 393.209 MCOP ▫ Ahorro en OPEX (2021): 2.244 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Ligera reducción en el confort del usuario en situación de operación degradada en HP de algunas estaciones.

A continuación se detalla el ahorro en CAPEX para cada una de las estaciones. El cálculo de este ahorro se ha realizado partiendo de los siguientes datos, obtenidos a partir de las matrices presupuestales del DBA de CL1:

- De forma conservadora, se ha considerado que el ahorro en CAPEX debido a la reducción de dimensiones de estaciones sólo afecta a la partida de obra civil, no viéndose afectada la arquitectura y MEP.
- El “Coste Ejecución Obra Civil (sin accesos)” se ha extraído de la Matriz Presupuestal Estaciones del DBA.
- El coste de obra civil de una estación tipo (sin accesos) se sitúa entre el 60-70% de la suma de obra civil, arquitectura y MEP de la estación, incluyendo accesos.
- El ahorro de CAPEX en una estación tipo debido a EST-7 se estima en $1.32 \times 5\%$ Costo de Ejecución Obra Civil (sin accesos).
- El ahorro de CAPEX en una estación tipo debido a EST-10 se estima en $1.32 \times 10,5$ a $8,5\%$ Costo de Ejecución Obra Civil (sin accesos), al que hay que restar, por la reducción de la caja, el costo de ejecución adicionales de túnel en cada estación que se aplica esta idea. Este coste adicional se ha calculado en:
 - TBM: $71,36 \times 1,32 = 94,20$ MCOP/m (obra civil completa + instalaciones no ferroviarias).
 - C&C: $201,3 \times 1,32 = 265,72$ MCOP/m (obra civil completa + instalaciones no ferroviarias).
- El ahorro de CAPEX en una estación tipo debido a EST-15 se estima en $1.32 \times 0.85\%$ Costo de Ejecución Obra Civil (sin accesos).

Se han calculado, además, los ahorros de las obras exteriores por reducción de la ocupación (longitud y anchura), para cada una de las estaciones, en la misma proporción de los costes de:

- Urbanización
- Redes
- Desvíos de tráfico

Finalmente, no se han considerado posibles ahorros de costo de adquisición de predios en ningún caso de la presente Propuesta.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

1 - ES							
ESTACION	O.Civil+Arq+ME x 1,32 (MCOP)	Obra civil Caja x 1,32 (MCOP)	EST-7. Ahorro CAPEX (MCOP)	EST-10. Ahorro CAPEX -neto- (MCOP)	EST-15. Ahorro CAPEX (MCOP)	Ahorros CAPEX -obras exteriores- (MCOP)	AHORRO CAPEX NETO (MCOP)
Portal de las Americas	312.778	196.254	9.813	18.063	1.668	3.069	32.614
Casablanca	177.042	Se considera su supresión, según Propuesta 2 - LV					
Villavicencio	178.868	130.955	6.548	11.207	1.113	1.167	20.035
Palenque	167.328	120.402	6.020	10.099	1.023	1.289	18.432
Kennedy	184.749	124.432	6.222	10.522	1.058	1.917	19.719
Boyaca	234.082	141.397	7.070	12.303	1.202	1.898	22.473
1 de Mayo	173.918	124.597	6.230	10.539	1.059	1.204	19.032
Avenida 68	262.755	158.463	No conveniente	14.095	1.347	5.406	20.848
Rosario	193.156	131.525	6.576	11.267	1.118	860	19.821
NQS	227.536	144.023	7.201	12.579	1.224	6.425	27.430
Santander	203.539	127.938	No conveniente	8.614	1.087	1.767	11.469
Nariño	152.715	88.534	4.427	5.265	753	1.728	12.172
Hortua	213.421	125.626	No conveniente	8.418	1.068	2.382	11.868
S.Victorino	209.358	127.414	No conveniente	8.570	1.083	1.693	11.346
Lima	199.045	120.940	6.047	8.019	1.028	2.963	18.058
La Rebeca	294.476	211.224	10.561	15.693	1.795	3.482	31.532
P.Nacional	277.446	212.843	10.642	15.831	1.809	1.629	29.912
Gran Colombia	198.320	Se considera en la Propuesta 5 - TP, al tratarse de una estación Tipo 3 (andén central)					
Marly	193.649	Se considera su supresión, según Propuesta 2 - LV					
Sto. Tomas	156.565	113.323	5.666	Tipo pantalla		1.452	7.119
Pza. Lourdes	134.044	94.867	4.743	Tipo pantalla		1.862	6.605
Av. Chile	153.164	97.860	No conveniente	Tipo pantalla		0	0
Calle 85	181.258	131.395	6.570	Tipo pantalla		1.854	8.424
Parque 93	159.843	118.169	5.908	Tipo pantalla		2.070	7.979
Calle 100	196.811	130.965	6.548	Tipo pantalla		1.411	7.959
Usaquen	201.319	131.489	6.574	Tipo pantalla		2.986	9.561
Calle 127	426.858	313.710	15.685	Tipo pantalla		3.033	18.719
	5.664.043	3.418.346	139.052	181.085	19.436	53.550	393.123

Si bien la reducción de la ocupación en planta de las estaciones oscila entre un 18% y un 24%, de forma conservadora se ha estimado sólo un ahorro en OPEX del 5% del previsto en el DBA de CL1, aplicado a las 20 estaciones que se propone reducir su anchura. Hay que tener en cuenta que esta Propuesta no contempla la reducción de los equipos electromecánicos que más energía consume, como escaleras mecánicas, ascensores y ventiladores.

Del DBA de CL1 se extrae el dato del costo medio de explotación (operación y mantenimiento) de una estación, incluido suministros y personal: 2243,5 MCOP/año/estación en 2021. El ahorro neto del OPEX es:

OPEX CL1 (MCOP)	OPEX IdV (MCOP)	AHORRO OPEX NETO (MCOP)
44.870	47.114	2.243,5
(OPEX de 20 estaciones)		(-5% x 20 estaciones)

5.2 Propuesta 2 - OPTIMIZACIÓN DE LA LÍNEA Y DE LA VÍA

Esta propuesta consiste en la agrupación de las ideas desarrolladas en el *workshop*:

- **VIA-1:** Optimización del trazado ferroviario.
- **VIA-2:** Empleo de carril de menor peso por metro lineal.
- **EST-1:** Supresión de la estación Casablanca.
- **EST-6:** Supresión de la estación Marly.

La aplicación de estas 4 ideas en el conjunto de la Línea permite una optimización de la funcionalidad propia de la Línea, por la cual, con algunas pérdidas de alguna funcionalidad, pero asumibles, es posible un importante ahorro de CAPEX y también de OPEX.

La aplicación simultánea de estas ideas persigue además un aumento de la velocidad comercial, que redundará en:

- Fase constructiva: ahorro en unidades de material rodante, por reducción del tiempo de vuelta
- Fase operativa: aumento del nivel de servicio, por aumento de la velocidad neta de los trenes

5.2.1 Supresión de estaciones

En cuanto a CAPEX, el objetivo principal es optimizar el conjunto de la PLMB suprimiendo aquellas estaciones que aportan menos valor a la función “transporte”, en relación con los costos de construcción asociados.

Tras un análisis de las estaciones con menor demanda y otros aspectos particulares (distancia a estaciones colaterales, situación en relación al exterior, dificultades constructivas, oportunidad de combinar con otras propuestas), se propone suprimir las estaciones **Casablanca** y **Marly**, y sustituir esos tramos por túnel y por sendos pozos de salida de emergencia (para el cumplimiento de normativa en materia de seguridad).

La estación **Casablanca** es la segunda de la PLMB comenzando por el Suroeste. Se halla a una distancia (entre ejes) de las estaciones colaterales, relativamente baja en relación al resto de la Línea:

- a 779 m de la estación Portal de las Américas
- a 685 m de la estación Villavicencio

Otros datos extraídos del proyecto de CL1 en relación a esta estación son:

- estación: de paso, tipo 1 Túnel
- demanda: 1,04%
- longitud: 208,2 m
- anchura: 30,7 m
- 4 accesos
- 3 niveles: vestíbulo, pre-vestíbulo y andenes
- cota carril: a -19,2 metros
- costo directo estimado de construcción: 165.032 MCOP
- costo total sin predios (x1,32): 217.842 MCOP

No se considera el ahorro de predios (4.268 MCOP), pues se prevé su adquisición, a pesar de suprimir la estación.

Su supresión implica una distancia resultante entre las estaciones colaterales de 1.464 m. Sin embargo, este costo total no representa un ahorro neto por supresión de la estación, sino que hay que restarle el costo total de los elementos sustitutivos. El tramo de túnel sustitutivo se construirá mediante tuneladora, con un ajuste del trazado en planta y perfil liberado de los condicionantes rígidos que provoca la implantación de una estación y un pozo (según la idea POZ-1). El pozo sustitutivo como salida de emergencia se debe construir a una distancia no mayor de 762 m (2.500 pies) de los extremos de dichas estaciones, para el cumplimiento de la normativa de seguridad en túneles. Se consideran los siguientes costos unitarios totales (incluido reposiciones y porcentajes aplicables) para los cálculos:

- túnel con TBM: $1,32 \times 71,36 = 94,20$ MCOP/m
- pozo nuevo en túnel con TBM: $1,32 \times 7.000 = 9.240$ MCOP/ud

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Aplicados a la estación de Casablanca:

- 208,2 m túnel de TBM:	94,20 x 208,2 =	19.612 MCOP
- 1 pozo de SE en tramo túnel TBM:		9.240 MCOP
- <u>Obras exteriores:</u>	<u>-1,32 x 7.138 =</u>	<u>-9.422 MCOP</u>
Total sobrecosto sustitutivo:		19.429 MCOP

Por lo tanto, el cómputo total de ahorro en CAPEX por la supresión de la estación Casablanca, calculado como diferencia del costo total con predios y sobrecosto sustitutivo, asciende a la cantidad de: **198.413 MCOP**.

Como inconvenientes a la supresión de la estación Casablanca cabe indicar:

- La distancia resultante entre accesos más cercanos entre las estaciones colaterales es de 1.100 metros.
- Por superposición de áreas de influencia, se estima una pérdida de la demanda del 28% sobre la estación (0,29% sobre el total)
- Se estima un incremento medio hasta el acceso a la Línea, de 34 m.

La estación Marly ocupa la posición 19 de la PLMB comenzando por el Suroeste. Se halla a una distancia (entre ejes) de las estaciones colaterales, relativamente baja en relación al resto de la Línea:

- a 716 m de la estación Gran Colombia
- a 783 m de la estación Santo Tomás

Otros datos extraídos del proyecto de CL1 en relación a esta estación son:

- estación: de paso, tipo 3 (andén central)
- demanda: 2,61%
- longitud: 415,2 m (incluye abocinamientos)
- anchura: 20,4 m
- 4 accesos
- 2 niveles: vestíbulo y andén
- cota carril: a -15,7 metros
- costo directo estimado de construcción: 173.208 MCOP (85% corresponde a OC, arquitectura y MEP)
- costo total sin predios (x1,32): **228.635 MCOP**

No se considera el ahorro de predios (1.575 MCOP), pues se prevé su adquisición, a pesar de suprimir la estación.

Su supresión implica una distancia resultante entre las estaciones colaterales de 1.499 m. Sin embargo, este costo total no representa un ahorro neto por supresión de la estación, sino que hay que restarle el costo total de los elementos sustitutivos. El tramo de túnel sustitutivo se construirá mediante tuneladora, con un ajuste del trazado en planta y perfil liberado de los condicionantes rígidos que provoca la implantación de una estación y un pozo (según la idea POZ-1). El pozo sustitutivo como salida de emergencia se debe construir a una distancia no mayor de 762 m (2.500 pies) de los extremos de dichas estaciones, para el cumplimiento de la normativa de seguridad en túneles. Se consideran los siguientes costos unitarios totales (incluido reposiciones y porcentajes aplicables) para los cálculos:

- túnel entre pantallas:	1,32 x 201,3 =	265,72 MCOP/m
- pozo nuevo en túnel entre pantallas:	1,32 x 3.800 =	5.016 MCOP/ud

Aplicados a la estación de Marly:

- 415,2 m túnel entre pantallas:	265,72 x 415,2 =	110.325 MCOP
- 1 pozo de SE en tramo túnel entre pant:		5.016 MCOP
- <u>Obras exteriores:</u>	<u>-1,32 x 6.357 =</u>	<u>-8.391 MCOP</u>
Total sobrecosto sustitutivo:		106.950 MCOP

Por lo tanto, el cómputo total de ahorro en CAPEX por la supresión de la estación Marly, calculado como diferencia del costo total con predios y sobrecosto sustitutivo, asciende a la cantidad de: **121.685 MCOP**.

Como inconvenientes a la supresión de la estación Marly cabe indicar:

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- La distancia resultante entre accesos más cercanos entre las estaciones colaterales es de 1.300 metros.
- Por superposición de áreas de influencia, se estima una pérdida de la demanda del 49% sobre la estación (1,27% sobre el total)
- Se estima un incremento medio hasta el acceso a la Línea, de 19 m.

La propuesta de suprimir la estación Marly es compatible (aditiva) con la Propuesta 5 (TP) de prolongación de la TBM hasta Calle 85. En esa propuesta, como se verá, la estación Marly ya está suprimida y, por tanto, se sustituyen los 415,2 m de túnel entre pantallas por otros tantos de túnel con TBM, y el pozo entre pantallas se sustituye por un pozo en tramo de túnel con tuneladora, de acuerdo a la idea POZ-1.

Lo mismo ocurre, tanto para la supresión de la estación de Casablanca como la de Marly, con los pozos sustitutivos y la Propuesta 8. En la presente propuesta se consideran los pozos de la idea POZ-1.

La ventilación de túnel no se ve significativamente afectada. Dado que las distancias interestaciones resultantes son inferiores a 1500 metros, no es obligatoria la instalación de pozos de ventilación interestacion, de acuerdo con la NFPA-130. Así pues, previsiblemente, tan solo sería necesario recalcular la potencia de los ventiladores de túnel de las estaciones colaterales a las estaciones suprimidas.

En lo relativo a ahorros de OPEX, la supresión de una estación comporta los siguientes ahorros:

- Energía de estaciones: en general toda la energía empleada en iluminación, ventilación, equipos de elevación y de peaje, puertas de andén y resto de consumidores.
- Mantenimiento de instalaciones de estaciones: obra civil, mobiliario urbano, equipos de elevación, puertas de andén y resto de sistemas de la estación.
- Personal de servicio en la estación, pudiendo distinguir entre personal de estaciones (operación), personal de seguridad y personal de limpieza. No se cuenta la parte proporcional del personal de mantenimiento de instalaciones ya que éste va incluido en el coste global de mantenimiento.

Valorados estos tres conceptos, se ha obtenido una cifra promedio de posible ahorro de: **2.243,54 MCOP por estación y año (2021)**.

En ambos casos, si bien no se ha considerado así en el presente Estudio, podría ser conveniente reubicar las estaciones colaterales para equilibrar las distancias entre estaciones consecutivas y “recuperar” parcialmente la oferta de transporte para la población potencialmente servida que se pierde con la supresión de las dos estaciones mencionadas. Pero para tomar esta decisión es necesario realizar un estudio de demanda “micro”.

5.2.2 Optimización del trazado

Aprovechando la oportunidad de suprimir dos estaciones, se observa un aumento de la velocidad comercial técnica de la Línea (la que se deduce del carrusel completo), que permite, en teoría, reducir la flota necesaria de trenes. Esta reducción de la flota, si se desea mantener el intervalo (inicialmente 150 segundos), debe hacerse por unidades enteras. La supresión de las dos estaciones permite, junto con la mejora del trazado que más adelante se describirá, estimar en un aumento de 2,5 km/h la velocidad comercial, que se traduce en un ahorro inicial de 2 UTs (3 UTs en 2050).

Esta afirmación proviene de la relación existente entre:

- N: número de U.T. en línea
- I: intervalo (seg)
- V: velocidad comercial (km/h)

$$N \cdot I \cdot V = \text{cte}$$

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

De lo que se deduce:

- a) Para un mismo intervalo, un aumento de la velocidad comercial significa una disminución del número de U.T. en línea.
- b) Si permanece constante la velocidad comercial, para disminuir el número de U.T. debe aumentar el intervalo.
- c) Si el número de U.T. es dado, un aumento de la velocidad comercial significa una disminución del intervalo.

Tanto I como V son números reales, pero N es un número entero, así que, para disminuir N, la relación entre las tres variables debe ser tal que N siga siendo un número entero.

Existe otra relación por la que la velocidad comercial resulta un parámetro a maximizar:

$$C = c \cdot N \cdot V / 2L$$

donde:

- C: capacidad de transporte de la línea (pax/hora/sentido)
- c: capacidad de una U.T. (pax/tren)
- N: número de U.T. en línea
- V: velocidad comercial (km/h)
- L: longitud de la línea

Así, para aumentar la capacidad de una línea, hay que:

- 1.- aumentar la capacidad unitaria de los trenes
- 2.- aumentar el número de trenes circulantes
- 3.- aumentar la velocidad comercial
- 4.- disminuir la longitud de la línea (carruseles cortos y/o ejecución por fases)

La primera medida ya tiene grandes limitaciones. La segunda es la que se trata de reducir. La última sólo es posible superponiendo carruseles cortos (servicios parciales) y/o ejecutando por fases la línea. Así pues, **se trata de incidir ahora sobre la velocidad comercial**. Ésta puede reducirse mediante una o varias maneras:

- 1.- optimizando las condiciones de trazado en planta y alzado (para desarrollar la V_{máx})
- 2.- reduciendo el tiempo de vuelta (retornos en colas más rápidas)
- 3.- reduciendo (discriminando por estación y HP-HV) los tiempos de parada
- 4.- eliminando estaciones (una parada demora casi 2 minutos el tiempo del ciclo completo)
- 5.- aumentando las prestaciones de los trenes (V_{máx}, aceleración, deceleración)

Como se ha indicado anteriormente, en realidad, lo que hace disminuir la flota de trenes no es la velocidad comercial en sí, sino la ganancia de tiempo de recorrido del carrusel completo. Cada fracción de tiempo que se pueda reducir, que sea equivalente a un intervalo, reduce en una unidad el número de trenes necesarios. Así, con intervalos bajos, es más fácil reducir U.T. en línea (y, por lo tanto, no hace falta aumentar tanto la velocidad comercial). En definitiva, la velocidad comercial es una medida indirecta para reducir unidades de

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

tren circulantes. Esta reducción se pretende realizar por combinación de las cuatro primeras maneras, puesto que la quinta supone un encarecimiento injustificado del costo de adquisición y operación de los trenes.

En el año de puesta en servicio (2021), el intervalo especificado es 150 segundos (2,5 minutos). Si el trazado y/u otras circunstancias enumeradas anteriormente permitieran reducir el tiempo completo del carrusel en fracciones de 2,5 minutos, el número de trenes se reduciría en el mismo número de fracciones de tiempo: 2,5 minutos → un tren, 5 minutos → 2 trenes, etc.

En el año horizonte (2050), el intervalo especificado es 90 segundos (1,5 minutos). Si fuera posible reducir el tiempo de vuelta previsto en 1,5 minutos, 3 minutos, etc, es posible reducir la flota en 1 unidad, 2 unidades, etc. respectivamente.

Es importante tener en cuenta todo esto a la hora de diseñar la operación ferroviaria a lo largo del tiempo, porque, como N es un número entero, podría merecer la pena “sacrificar” unos pocos segundos del intervalo, si con ello se puede rebajar en una unidad la flota precisa en la línea. Esta ligera pérdida de Nivel de Servicio puede quedar, al menos parcialmente, compensada por el propio aumento de la velocidad comercial.

Esta propuesta exige realizar una serie de trabajos con posterioridad al presente estudio de Ingeniería de Valor:

- ✓ Ajuste geométrico de trazado en planta y alzado del túnel
- ✓ Ajuste de posición de aparatos de vía
- ✓ Ajuste de posición de las estaciones
- ✓ Realizar modelo de simulación de marchas con las nuevas condiciones

Sin embargo, ahora ya se pueden hacer los siguientes comentarios al respecto:

- a) Sin necesidad de realizar el modelo de simulación de marchas, ya se puede afirmar, del diseño de CL1:
 - La velocidad punta es: 90 km/h (criterio de diseño, en servicio)
 - La velocidad comercial técnica del diseño de CL1 es: 35,5 km/h (superior a la velocidad objetivo de 35 km/h), calculada bajo las siguientes hipótesis (teniendo ya en cuenta los márgenes):
 - Aceleración en servicio: 0,80 m/s²
 - Deceleración en servicio: 1,0 m/s²
 - Tiempo de parada: variable por decenas de segundos (20-30-40)
 - Esta velocidad está condicionada (en su velocidad máxima) al efecto negativo de algunas curvas en planta de radio reducido que limitan la velocidad de paso en esos tramos, tal como ponen de manifiesto las curvas de velocidades. Con los parámetros empleados por CL1, basados en valores en general “normales” de la normativa empleada (EN 13803-1) y otros antecedentes, las curvas más cerradas, de radio R=250m, disponen de un peralte D=140mm, una Asc=0,65 m/s² y una longitud de transición (clotoide) de 70m, con lo que sólo es posible alcanzar una velocidad máxima de paso de 71 km/h. Esto provoca una velocidad comercial de valor inferior al que teóricamente un tren, en condiciones ideales de trazado, sería capaz de alcanzar.
- b) Partiendo de las mismas prestaciones cinemáticas de los trenes, veamos las opciones de ajustes de trazado para alcanzar la máxima velocidad comercial posible:
 - Suponiendo un perfil longitudinal que no influya en las marchas, para alcanzar la velocidad punta máxima, de 90 km/h, en esas curvas, debería: aumentarse el radio hasta R=276m, disponer un peralte D=180mm, que es el valor excepcional de la norma, y una longitud de transición algo superior (72m), que también supone un desarrollo “excepcional” de 2,5 mm/m. Esto supone modificar el trazado en planta, sin garantía de obtener una solución satisfactoria en cuanto a los efectos que podrían derivarse (adquisición de predios), por lo que en principio no se recomienda.
 - Sin embargo, si mantenemos absolutamente el trazado en planta, y sólo aumentamos el peralte en aquellas curvas de velocidad limitada, p.e., para R=250m, hasta D=175mm (por debajo de los 180mm excepcionales) y la longitud de sus curvas de transición (70m, como en CL1), la velocidad máxima en esos tramos se eleva de los 71 km/h actuales a 85 km/h posibles teóricamente, por limitaciones civiles. Ello permite elevar la velocidad comercial significativamente.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Suponiendo que el tiempo de retorno en colas no se pueda reducir, para acabar de aumentar la velocidad comercial (o reducir el tiempo de vuelta completo del carrusel) hasta un valor suficiente, se puede ajustar el tiempo total de paradas en unos pocos segundos imperceptibles para el viajero (repartidos entre las 54 paradas del carrusel).

Con estas premisas y teniendo en cuenta el efecto aditivo de la supresión de las estaciones Casablanca y Marly, se ha determinado de manera simplificada, la velocidad comercial resultante, obteniendo un valor de **38 km/h**, que supone reducir en 2 intervalos el tiempo de vuelta y, por lo tanto, un ahorro de 2 unidades de tren completas en 2021, valorado en $2 \times 24.260 \text{ MCOP} = 48.520 \text{ MCOP}$ (coste directo), es decir, 64.046 MCOP (total)

Cuando se reduce el intervalo, el ahorro aumenta, llegando a ser hasta 3 unidades en 2050.

El aumento de la velocidad comercial resultante de esta Propuesta no significa que aumente el consumo energético de tracción global, sino incluso al contrario, puesto que en cada ciclo se eliminan hasta 4 fases de aceleración y otras tantas de frenado, para un mismo recorrido, alargando los tiempos de conducción en deriva, los cuales generan menor consumo que tener que detener y arrancar el tren 52 veces en lugar de 56 (contando los retornos de colas).

Los inconvenientes de llevar a cabo esta propuesta de ajuste del trazado (sólo peraltes) son los siguientes:

- Aumentan los km recorridos del resto de la flota en línea. Sin embargo, la producción es la misma pero concentrada en menos trenes, aunque sí podría disminuir la vida útil por acumular km antes.
- Algunos parámetros de trazado en curva y en acuerdo deber ser “excepcionales” en lugar de “normales”, lo que supone una ligera (pero siempre dentro de las normas al uso) pérdida de confort para el viajero, si bien sólo en algún punto concreto del trazado.
- Si se realizan los ajustes del trazado en planta descritos anteriormente es posible que acabe resultando afectado algún predio adicional, en cuyo caso, se debería restar del ahorro de CAPEX derivado de la reducción de la flota. Por tal motivo, no se aconseja, de entrada, realizar ajustes del trazado en planta, y no se ha considerado.
- Si fuera necesario una mejora de las prestaciones del material rodante (aceleración) para aumentar la velocidad comercial, se puede encarecer su costo de adquisición y el costo de operación por mayor consumo adicional. Pero esto no se ha considerado, porque se estima que es posible aumentar la velocidad comercial mediante otras actuaciones.

Se ha comprobado que el aumento de peralte en las curvas cerradas permite mantener la entrevista, la disposición de las pasarelas laterales y del diámetro de la tuneladora TBM. Cabe indicar que para la comprobación de que los gálibos no invaden el espacio libre de paso de personas por las pasarelas se ha empleado el perfil que figura en la NFPA-130 y no el rectángulo empleado por CL1 (2.200 mm de alto x 700 mm de base).

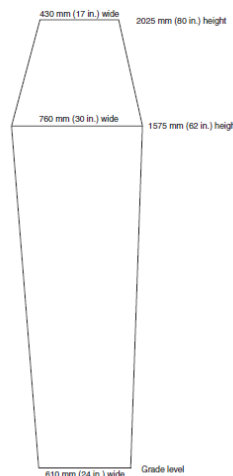
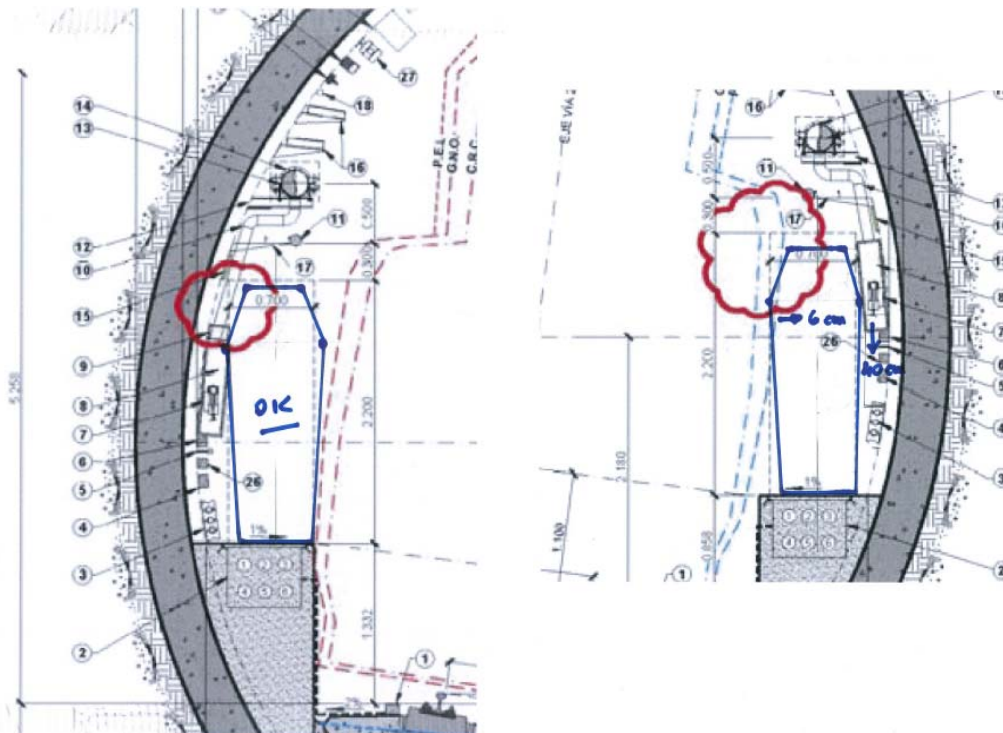


FIGURE A.6.3.2.1 Unobstructed Clear Width for Trainway Walkway.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Colocado ese perfil convenientemente sobre las pasarelas exterior e interior a la curva, sí se ve necesario reubicar en las curvas algunos elementos adosados a los hastiales, pero esto no comporta ningún problema. Se ha analizado para peralte 180 mm:

- Por el lado interior, debe desplazarse 6 cm hacia el interior el perfil NFPA, para librar el gálibo y mover alguna instalación 40 a 60 cm hacia arriba o hacia abajo
- Por el lado exterior, el perfil NFPA queda inscrito sin tener que mover nada



5.2.3 Optimización de la superestructura de vía

Por último, esta Propuesta incluye la idea VIA-2reducción de la sección del carril de 60 kg/ml (UIC-60) a 54 kg/ml (UIC-54), porque ofrece idénticas prestaciones en cuanto a resistencia y durabilidad. Ésta depende mayormente de la resistencia al desgaste superficial que no de la inercia de la sección. El ahorro se extiende a todos los elementos de vía como los aparatos de vía y resto de elementos. Se cifra en un total de **9.222 MCOP**.

5.2.4 Resumen de la propuesta

EN RESUMEN, eliminando las estaciones Casablanca y Marly y realizando unos ligeros ajustes de trazado (sólo algún peralte) es factible lograr un aumento de la velocidad comercial hasta 38 km/h o, lo que es lo mismo, reducir un tiempo equivalente a dos intervalos el tiempo de vuelta completa del carrusel.

Añadiendo la optimización de vía, el ahorro acumulado (CAPEX) de esta Propuesta asciende a: **393.366 MCOP (2,61% de la inversión total)**.

Esta recomendación supone un ahorro adicional de operación y mantenimiento (OPEX) de **4.487 MCOP por año (2021)**, debido a la supresión de las dos estaciones.

Por último, la **pérdida de funcionalidad** operativa o de nivel de servicio es inapreciable y, hasta cierto punto, resulta compensada por el aumento de la velocidad comercial perseguida. Sí, en cambio, existe una pérdida de funcionalidad, en la medida que se reduce la demanda atendida en un **1,56%** del total de la Línea.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

5.3 Propuesta 3 - OPTIMIZACIÓN DEL GRADO DE AUTOMATIZACIÓN OPERACIONAL

Esta propuesta consiste en la agrupación de dos ideas independientes, que corresponden al Modelo operacional:

- **MOP-3: Automatización de estaciones con reducción de personal.**
- **MOP-4: Limitar el grado de automatización a GoA3.**

La propuesta MOP-3 trata de optimizar el personal de estaciones de la red. Tanto en el diseño conceptual como en el básico avanzado se propone un equipamiento en estaciones que permite su operación sin personal de servicio permanente en la misma. Sin embargo, se diseña una plantilla de personal de estaciones con 300 personas. Bajo un modelo totalmente automatizado, es posible reducir estos efectivos a la mitad aproximadamente.

Del mismo modo, el personal de Seguridad, aparece sobredimensionado, con 10,47 agentes por estación. Se propone su reducción en un 50% sobre el coste anual estimado de 39.374 MCOP

La propuesta MOP-3 propone un modelo de gestión de estaciones basado en expendedores automáticos de boletos, barreras de acceso y telecomunicaciones de apoyo al viajero a fin de limitar la presencia de personal a los agentes de atención al viajero, que operan de modo ambulante en una o varias estaciones y en los trenes.

La propuesta MOP-3 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

Idea MOP-3	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Operativa: Se utilizan exclusivamente los sistemas de la estación no dependiendo de la presencia de agentes en la misma.</p> <p>Operativa: Se mejora la gestión de incidencias al darse criterios centralizados.</p> <p>Cultural: Se acostumbra al usuario a responsabilizarse de su acceso al metro</p> <p>Económica: se reduce OPEX y se justifica el equipamiento de la estación.</p> <p>Ahorro estimado en OPEX = 19.687 MCOP/año (2021)</p>	<p>Mayor sensibilidad a fallos de los equipos o las telecomunicaciones.</p> <p>Mayor exigencia de mantenimiento.</p> <p>Oferta de menos puestos de trabajo: disminuye la plantilla de estaciones y de seguridad en un 50% respecto al diseño básico avanzado.</p>

La propuesta MOP-4 consiste en limitar el grado de automatización de la línea a GoA3, es decir, eludir la automatización total sin personal de servicio a bordo de los trenes, disponiendo un auxiliar de operación en cada tren para supervisar el correcto funcionamiento del servicio y atender posibles emergencias. Tanto en el diseño conceptual como en el básico avanzado se plantea un modelo operativo con un grado de automatización GoA4 (UTO o Unmanned Train Operation). Ello implica una alta redundancia en sistemas para garantizar la fiabilidad y disponibilidad debida en este tipo de metros totalmente automáticos sin personal a bordo.

A la vista de la experiencia positiva de Metro Medellín se propone explorar un funcionamiento de la línea de Metro en grado GoA3, con personal de asistencia a bordo, y limitando la redundancia y disponibilidad de los sistemas para abaratar el CAPEX de estas partidas.

Hay que insistir que el grado GoA3 tiene el mismo nivel de automatismo de trenes que el GoA4.

La propuesta MOP-4 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Idea MOP-4	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Operativa: Se mejora la atención inmediata a incidencias en los trenes al disponer de personal de acompañamiento.</p> <p>Social: Se facilita la inserción laboral mediante empleos a tiempo parcial a colectivos poco cualificados.</p> <p>Económica: Se reduce el CAPEX al evitar redundancias en los sistemas</p> <p>Ahorro estimado en la inversión (coste directo): 271.182 MCOP.</p>	<p>Equipos no utilizados al 100% de sus prestaciones (puertas andén,..)</p> <p>Dependencia de la plantilla de asistentes a bordo.</p> <p>Incremento de OPEX (233 agentes a bordo): 4.827 MCOP/año (2021)</p>

El ahorro estimado en CAPEX se justifica según:

- Reducción del coste de los sistemas al reducirse los niveles de automatización.
- Posibilidad de reducir los niveles de disponibilidad de sistema y por tanto algunas redundancias previstas en Proyecto.

	Presupuesto (MCOP)	Reducción (MCOP)
Sistema de Alimentación y Tracción	359.292	35.929
Material Móvil	1.490.573	74.529
PCC	113.408	16.906
Señalización	279.639	61.368
Comunicaciones	334.180	16.709
TOTAL (MCOP)	2.577.091	205.441

Multiplicando esta cifra por 1,32, se obtiene el coste de inversión total: **271.182 MCOP**

Es posible, a partir de estas dos ideas independientes, imaginar una agrupación tal que:

Se reduce la presencia de agentes en estación y de seguridad, puesto que existen acompañantes a bordo de los trenes que supervisan el desarrollo normal de la operación en el interior del tren.

Se eliminan redundancias costosas, imprescindibles para garantizar el grado GoA4, ya que se dispone de personal a bordo, el cual supervisa la operación de embarque y desembarque, así como atiende las posibles incidencias en ruta.

Bajo este nuevo escenario sería posible alcanzar los ahorros estimados para los sistemas, a costa de sacrificar los de personal, ya que los ahorros en personal de seguridad irían a parar a la remuneración de los acompañantes de tren, siendo necesaria alguna aportación adicional de OPEX.

EN RESUMEN, la puesta en marcha de esta agrupación de ideas permite un ahorro de CAPEX de **271.182 MCOP**. En cuanto a OPEX, del ahorro de 19.687 M COP al prescindir del 50% de la plantilla de estaciones y seguridad, 4.827 MCOP deberían destinarse a remunerar a los acompañantes de tren, de baja especialización, para los que se ha calculado un salario bruto anual de 20,72 MCOP, asimilándose así al modelo de Metro Medellín, el cual ha tenido una amplia aceptación social. Así, el ahorro neto de OPEX (2021) asciende a: **14.860 MCOP**.

Existe una disminución de nivel de disponibilidad de los sistemas, que se contrarresta con personal acompañante

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

5.4 Propuesta 4 - OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA Y DE LOS CONSUMOS DE TRACCIÓN

Esta propuesta consiste en la agrupación de dos ideas independientes, que corresponden al Modelo operacional:

- **OPX-3:** Análisis detallado del consumo por coche-km.
- **ENE-1:** Reestudiar la demanda energética.

5.4.1 Consumos

Los consumos resultantes son de 6,74 KWh/(Coche-Km), tal y como consta en el documento 202006-DE-PR26-DOC-01-00 (Estimación costos operación y mantenimiento), unos valores que triplican los valores usuales de un sistema de metro moderno similar con regeneración de energía, como se puede observar en la siguiente tabla:

Sistema	Consumo en Kwh / (coche·Km)
Grandes metros del mundo (media)	2,6 (Fuente: Metro Madrid 2013)
L3 Metro Madrid (*)	1,3 (Fuente: Metro Madrid 2013)
Metro Madrid (media)	2,2 (Fuente: Informe Anual Metro Madrid 2013)
Metro de Barcelona (media)	2,3 (Fuente: TMB - Resum de gestió 2013)
Metro Paris MF77	De 1,7 a 1,9 (Fuente RATP)
Metro Paris MF01	De 1,3 a 1,5 (Fuente RATP)

Valores de consumo en KWh / (coche·Km) de algunos metros

(*) Considerada la más eficiente del mundo. Fuente: Metro Madrid 2013

En cuanto al total de energía, según el mismo documento 202006-DE-PR26-DOC-01-00, el consumo total en el horizonte 2050 es de unos 451GWh/año. En la siguiente tabla podemos ver una comparativa con otros sistemas de Metro:

Sistema	Longitud (Km)	NºEstaciones	Consumo anual en GWh	Consumo anual en GWh/km
Metro Madrid	292	300	606 (Fuente Informe Anual Metro Madrid 2013)	2,07 GWh/km
Metro de Barcelona	92	127	244 (Fuente: GranCEES 2007)	2,65 GWh/km
Metro Bogotá	26	27	451	17,34 GWh/km

Valores de consumo en GWh / Km de algunos metros

Se observa que tanto los 6,74 KWh/(Coche-Km) como el valor de 451 GWh no son valores razonables, dada la dimensión de la PLMB para el caso del segundo. Como causantes de estos valores, se han detectado los siguientes factores:

- Potencia excesiva de los trenes

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Potencia y consumos excesivos en las estaciones
- Resultados de la simulación de tracción optimizables

Un sobredimensionamiento de la energía ocasiona:

- Mayor dimensionamiento de potencia de cada SET con equipos más grandes y más necesidades de espacio.
- Mayor dimensionamiento de las potencias de las Receptoras, con equipos más grandes, mayores necesidades de espacio y conexiones con la compañía eléctrica de mayor capacidad.
- Mayor dimensionamiento de los anillos de tracción con cables de secciones mayores y mayor energía transportada con más pérdidas en el transporte.

A continuación, se analiza cada uno de estos factores:

5.4.2 Potencia de los trenes

La potencia de los trenes (4.500KW), estimada según el documento 202006-DE-PR24-DOC-05-01 (Prediseño del sistema de Tracción y Freno del Material Rodante destinado a la PLMB) es una potencia excesiva por comparación con otros materiales móviles de sistemas de metro similares. Por ejemplo, el tren de Singapur, también de 6 coches, es un tren del entorno de los 2.000KW, de acuerdo con la documentación aportada en el Anexo n°1 del documento mencionado.

En el apartado 3.6 (Aceleraciones y deceleraciones) del documento MB-GC-ET0017 (Especificación Técnica. Material Rodante) de los Términos de Referencia (TDR) se indica que “en recta y horizontal, la aceleración de una unidad M-M deberá ser, con independencia de la carga, de $1,2m/s^2$. Esta se mantendrá como mínimo, con carga máxima, hasta 40 Km/h”. Este requisito, previsto para una composición M-M, se ha mantenido para la composición planteada M-R-M-M-R-M, lo cual hace que se dispare la potencia a valores muy altos e inusuales.

En cuanto a la velocidad comercial, en el apartado 3.7 (Velocidades) del documento MB-GC-ET0017 (Especificación Técnica. Material Rodante) de los Términos de Referencia (TDR) se establece que la velocidad comercial deberá garantizar al menos los 30 Km/h.

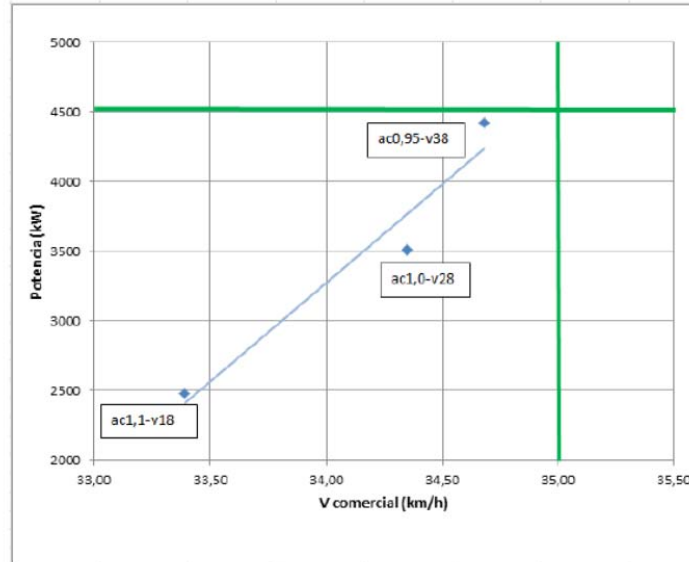
Sin embargo, en la página 16 de la sección 5 de los TDR se fijó la velocidad comercial objetivo en 35 Km/h. En la tabla 4 del documento 202006-DF-PR06-ANX09-01-02 (Definición geométrica del trazado) se representa la evolución del requerimiento de velocidad comercial:

Parámetros funcionales adoptados por:	UNE-EN 13803-1	Diseño conceptual	Producto 27	Términos de referencia	Consorcio L1
		(estudios previos)	(Estudio Alternativas)		(Estudio Diseño)
Velocidad Máxima	80 km/h	80 km/h	80 km/h	80-100 km/h	90 km/h
Velocidad comercial de la línea	-	≥ 30 km/h	≥ 30 km/h	≥ 30 km/h Objetivo 35 km/h	≥ 30 km/h Objetivo 35 km/h

Fuente: Tabla 4 del doc 202006-DF-PR06-ANX09-01-02

Se muestra en la figura 11 del documento 202006-DE-PR24-DOC-05-01, la correlación entre la velocidad comercial y la potencia del tren:

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4



Fuente: Figura 11 del doc 202006-DE-PR24-DOC-05-01

El requerimiento de alcanzar una velocidad comercial objetivo de 35 Km/h es otro factor que provoca un dimensionamiento excesivo de la potencia del tren.

La velocidad comercial promedio de Metro Madrid en 2013 fue de 30,41 Km/h (Fuente: Informe Anual Metro Madrid 2013), siendo el detalle por líneas de la velocidad de explotación en hora punta, el representado en la siguiente tabla:

OFERTA POR LÍNEAS EN PERIODO PUNTA DE DÍA LABORABLE (7:30 a 9:30)						
Línea	Trenes	Coches/Tren	Velocidad Explotación (km/h)	Tiempo Recorrido (h:mm:ss)	Intervalo (mm:ss)	Capacidad Transp. (Viaj./h)
1	33	6	21,92	2:00:38	0:03:39	13.294
2	19	4	24,23	1:06:05	0:03:39	9.074
3	24	6	24,97	1:06:06	0:02:45	17.604
4	25	4	21,40	1:20:13	0:03:13	9.835
5	29	6	23,36	1:55:59	0:04:00	13.051
6.1	20	6	24,28	0:58:21	0:02:55	27.453
6.2	13	6	25,32	0:55:52	0:04:18	18.637
7A	18	6	27,54	1:22:21	0:04:35	16.681
7B	6	3	35,43	0:29:21	0:04:54	7.580
8	11	4	40,45	0:46:41	0:04:15	11.708
9A	19	6	26,26	1:24:32	0:04:27	15.617
9B	7	2/3	54,93	0:41:33	0:05:56	4.459
10A	32	6	29,86	1:35:49	0:03:00	25.489
10B	11	3	37,43	0:48:40	0:04:25	8.381
11	5	4	29,25	0:27:43	0:05:33	8.963
12.1	11	3	39,22	1:02:16	0:05:40	6.435
12.2	11	3	39,95	1:01:26	0:05:35	6.521
R	2	4	11,65	0:10:02	0:05:01	6.295
ML1	7	5	18,62	0:34:11	0:04:53	3.441

Fuente: Informe Anual Metro Madrid 2013

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Por su parte, en la siguiente tabla se muestran las velocidades comerciales del Metro de Barcelona:

Velocitat comercial (km/hora)

Línia	2013	2012
L1	26,8	26,8
L2	25,7	27,6
L3	26,6	26,6
L4	28,4	28,4
L5	26,3	26,3
L9	29,3	29,3
L10	32,4	32,4
L11	24,0	24,0
Funicular	18,0	25,0

Fuente: TMB - 2013

La reducción de la velocidad comercial de la L2 del Metro de Barcelona en el año 2013, se trasladó en un ahorro de los costes energéticos del entorno del 15% (Fuente: TMB - Resum de gestió 2013).

Por tanto, con el objeto de obtener una potencia de trenes más razonable, se recomienda reconsiderar los requerimientos de aceleración, especialmente la velocidad de 40 Km/h, hasta la cual se pedía mantener la aceleración de 1,2 m/s². Esto redundaría en una potencia necesaria de los trenes muy inferior.

El hecho de disponer de una alta velocidad comercial, no significa necesariamente un elevado consumo energético, pues dicho valor puede provenir por una mejora del trazado de la Línea y/o por la supresión de alguna estación, como se ha demostrado en la Propuesta 2-LV.

5.4.3 Potencia y consumos excesivos en estaciones

Una potencia de 2000KVA previstos por estación es un valor muy elevado. Un sobredimensionamiento en las potencias de los transformadores de estación provocan, además de un sobrecoste de inversión, por tratarse de equipos y protecciones más grandes, un sobrecoste de operación por pérdidas eléctricas de los transformadores.

5.4.4 Resultados de la simulación de tracción optimizables

La simulación de tracción (documento 202006-DF-PR18-ANX22-MEM-0103, Simulación eléctrica de la red de tracción) no considera la regeneración energética, cuando en modo normal, el funcionamiento del sistema sería con esta regeneración energética. Consideramos que debería incluirse la regeneración energética como parámetros de cálculo de la simulación de tracción.

Por otra parte, los resultados de la simulación eléctrica para el horizonte 2050 son de 141MW con trenes de 4.500KW de potencia. Considerando un carrusel de 59 trenes, sale una potencia media de los trenes del carrusel de 2,4MW (más del 50% de la potencia nominal del tren). Teniendo en cuenta que en un instante determinado parte de esos trenes están parado, otros tantos están frenando y otros tantos están en interestación (ya sin acelerar, no demandando potencias demasiado altas), más de un 50% de la potencia nominal del tren como media es un valor excesivo. Con regeneración, valores razonables estarían sobre el 30%. En resumen, se propone una potencia de los trenes de **3.600KW**, es decir, una reducción del **20%** del propuesto por CL1.

5.4.5 Otros aspectos de mejora

Se plantean a continuación algunos aspectos para que sean evaluados por el proyectista y que se decida su conveniencia de implementación:

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Puesta en paralelo de catenarias y carriles de retorno

Se ha previsto en el proyecto la independencia eléctrica entre los circuitos positivo y negativo de las dos vías paralelas. Son cada vez más las administraciones que plantean la explotación con uniones eléctricas por cuestiones de eficiencia energética. Unirlas eléctricamente (con posibilidad de desconexión para independizarlos en caso de situaciones degradadas) permitiría:

- Mayor eficiencia en el aprovechamiento de la regeneración entre trenes, ya que se reducen las pérdidas al acortar el recorrido de la intensidad entre un tren excedente y un tren demandante que se crucen.
- Se aumenta al doble las secciones tanto del circuito positivo como del circuito negativo, reduciéndose importantemente las pérdidas eléctricas y reduciéndose a su vez tanto las caídas de tensión como los valores de tensión carril-tierra, hechos que pueden implicar un redimensionamiento de las subestaciones, ya que éstas se pueden distanciar más, planteándose la reducción del número de las mismas

SETs reversibles

Cuando hay regeneración eléctrica de trenes en un sector en el que no hay demanda de energía por parte de otros trenes esa energía se pierde. Esto se puede evitar haciendo reversibles las SETs, cosa que permite reinyectar en los anillos de MT esa energía sobrante.

5.4.6 Cuantificación de los ahorros CAPEX

Material rodante

Una reducción de la potencia necesaria de los trenes podría conllevar unos ahorros de unos **72.052 MCOP**.

Subestaciones de tracción

Se debería realizar una nueva simulación de tracción para ver las nuevas necesidades de tracción. La nueva simulación podría dar como resultado la eliminación de alguna de las subestaciones de tracción. Suponiendo que no son necesarias 5 SETs los ahorros serían a 4.590 MCOP por SET de unos **22.950 MCOP**.

Anillos de distribución

Una reducción de los consumos tanto de estaciones como de tracción podían llevar a reducir las secciones del cableado de los anillos de distribución, que podría conllevar unos ahorros de unos **6.375 MCOP**.

Centro de transformación

Una reducción de las potencias de los transformadores de estaciones de 2000KVA a 1000KVA podrían conllevar un ahorro de inversión de entorno a **1.275 MCOP**.

Ahorros totales de inversión

Sumando los 4 conceptos anteriores y aplicando los coeficientes, se obtiene el ahorro total: **112.444 MCOP**.

5.4.7 Cuantificación de los ahorros OPEX

Costes de Energía de tracción

	Coches*Km / año (Fuente doc 202006-DE-PR26-DOC-01-00)	Coste CL-1 (MCOP)	Coste en MCOP - 3,6 KWh / (Coche·Km)	Ahorro anual (MCOP)
Año 2021	29.599.368	46.920	24.970	21.950
Año 2026-2029	35.777.874	56.610	30.110	26.500
Año 2050	46.982.034	74.460	39.660	34.800

Se ha considerado un valor de **3,6 KWh/(Coche·KM)** como un valor objetivo razonable.

5.5 Propuesta 5 - PROLONGACIÓN DEL TUNEL CON TUNELADORA (TBM) HASTA CALLE 85

Esta propuesta comprende las siguientes ideas desarrolladas durante el *workshop* de Ingeniería de Valor:

- **TUN-1:** Sustitución de túnel entre pantallas por túnel excavado con TBM entre las estaciones Gran Colombia y Calle 85.
- **EST-12:** Transformación de la estación Gran Colombia, con andén central, en estación con andenes laterales.

Cabe destacar que la idea EST-12 se ha modificado ligeramente respecto a su enunciado inicial: “EST-12: Transformación de estaciones de andén central (Gran Colombia y Marly) en estaciones de andenes laterales”. Esto se debe a que la Propuesta N°2 ya incluye la eliminación de la estación de Marly (EST-6), por lo que, considerando que el conjunto de las 9 propuestas presentadas se apliquen simultáneamente, no cabe hablar de la transformación de la estación de Marly, reduciéndose el cambio de andén central a andenes laterales a la estación de Gran Colombia.

El PBA propone modificar el procedimiento de excavación del túnel, de TBM a pantallas, desde la estación de Gran Colombia hasta el final de la línea. Los motivos que se esgrimen en el PBA como argumentación de este cambio son los siguientes:

- i. Túnel entre pantallas en el Tramo III (estación Gran Colombia- estación Plaza de Lourdes):
 - Las estaciones de Gran Colombia, Marly, Santo Tomás y Plaza de Lourdes se encuentran muy próximas, con distancias entre ellas comprendidas entre 300 m y 500 m aproximadamente.
 - Teniendo en cuenta lo anterior y el hecho de que las estaciones Gran Colombia y Marly presentan andén central, la longitud de túnel de línea en este tramo es muy reducida, por lo que el encarecimiento y la mayor afección en superficie que implica la ejecución de túnel entre pantallas, no presenta un impacto importante en el presupuesto ni en la ciudad.
 - Con el túnel entre pantallas se reducen los movimientos en los edificios adyacentes al túnel y las medidas de protección necesarias (pantallas de pilotes o micropilotes).

Si se elimina la estación de Marly (Propuesta N°2) y se modifica la estructura de la estación Gran Colombia, convirtiéndola en una estación de andenes laterales (tipo II pantallas), se reduce la longitud de estación al tiempo que se incrementa la longitud de túnel de línea, por lo que aumentan las ventajas del túnel TBM frente a la construcción entre pantallas, incluso teniendo en cuenta la necesidad de incrementar las medidas de protección de edificios y los tratamientos sobre clave. Se ha verificado durante la visita de campo que la Carrera 13 presenta suficiente anchura como para poder modificar el diseño de la estación Gran Colombia según lo comentado.

- ii. Túnel entre pantallas en el Tramo IV (estación Plaza de Lourdes- Fin de Línea):

En este tramo la línea atraviesa, a partir de la estación Calle 85 y hasta el final de la línea, suelos lacustres muy blandos (Formación Sabana), con una subsidencia regional importante. Este condicionante dificulta la construcción del túnel con tuneladora por varios motivos:

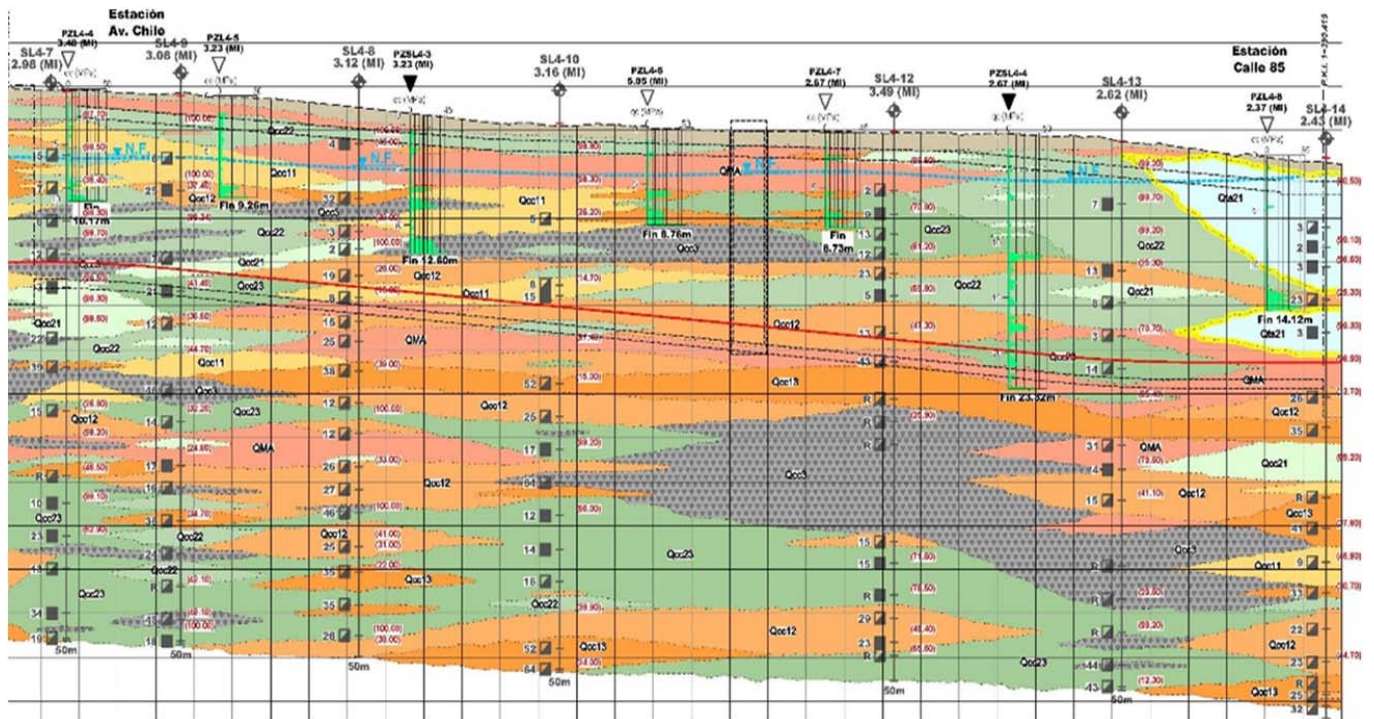
- Posible cabeceo de la tuneladora dado que, debido a su propio peso, tendería a bascular e hincarse en el terreno, lo cual dificulta de forma importante la operación de la máquina.
- Posibles asientos diferenciales importantes a lo largo del túnel y problemas en los entronques túnel-estación debido a la diferente rigidez de ambas estructuras.

Debido a los condicionantes indicados, la utilización de tuneladora debería complementarse con el uso de elementos de apoyo bajo el túnel TBM (columnas de jet-grouting o mortero). Estos elementos, además de reducir la posibilidad del cabeceo de la máquina, tendrían que tener una longitud suficiente para permitir el apoyo del túnel sobre el nivel coluvial situado bajo la formación Sabana (20-50 m de profundidad) reduciendo así los asientos generados por la subsidencia regional.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

La solución de túnel entre pantallas adoptada evita los problemas anteriores, dado que todo el conjunto, túnel y estaciones, presentaría un comportamiento similar en término de asentos, al apoyarse las pantallas, tanto de túnel como de estación, en el nivel de coluvial. Además el proceso constructivo presenta un menor riesgo frente a la utilización de tuneladora. Como contrapartida, se aumenta la aficción urbana y se introducen riesgos asociados a los servicios afectados y redes de concesionarios.

No obstante, de acuerdo con el perfil geotécnico del PBA, la formación Sabana se ha identificado a partir de la estación Calle 85. Por tanto, se considera que el tramo entre la estación Plaza de Lourdes y la estación Calle 85 podría construirse con tuneladora. En el caso del tramo de túnel entre la estación Calle 85 y el final de la línea, la necesaria utilización de apoyos adicionales (“muletas”) para el túnel TBM, supondría un incremento de costo del túnel TBM que haría equivalente el costo del mismo al del túnel entre pantallas.



Tramo IV. Perfil Longitudinal entre estación Avda. Chile y estación Calle 85

Una vez revisados los condicionantes analizados en el PBA en la elección del procedimiento constructivo a lo largo de los tramos III y IV, se considera que debe prolongarse el túnel TBM hasta la estación Calle 85, limitándose la ejecución de túnel entre pantallas entre esta estación y el final de la línea. Tal y como se ha comentado previamente, esta modificación implica un ahorro en término de CAPEX tanto mayor cuanto mayor sea la longitud del túnel en línea. Por ello, se propone adicionalmente, dentro de esta misma propuesta, la conversión de la estación Gran Colombia: de andén central a andenes laterales (tipo II pantallas).

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Dado que las estaciones afectadas por este tramo de túnel no presentan nivel de pre-vestíbulo (C.C. -15.7)², el túnel con tuneladora presentaría un recubrimiento de tan sólo 0.7 D en el entronque con las estaciones. Esto hace necesario profundizar el trazado entre estaciones y prever tratamientos sistemáticos sobre clave, para evitar inestabilidades de frente, al menos a lo largo de los 150 m adyacentes a cada emboquille. El cambio en la tipología de túnel también implica la necesidad de incrementar los tratamientos de protección a edificios.

Adicionalmente, debe considerarse un cambio en la tipología de los pozos de salida de emergencia, que pasarían de ser pozos entre pantallas a pozos conectados al túnel TBM mediante galería de conexión. El cambio de tipología de pozo implica un costo adicional.

A continuación se resumen las ventajas e inconvenientes correspondientes a cada una de las dos ideas que integran esta propuesta:

Idea TUN-1	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad y el nivel de servicio de la línea. ▫ Se reduce la afección urbana (desvíos de servicios y tráfico) durante la fase de construcción. ▫ Ahorro estimado en CAPEX = 415.965 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Posible necesidad de una cuarta tuneladora, o necesidad de que la que parte de Parque Tercer Milenio, comience antes, para mantener el plazo de obra. ▫ Es necesario reorganizar el plan de obra.

La determinación del ahorro en CAPEX se ha realizado considerando los siguientes datos:

- Longitud de túnel a modificar (pantallas →TBM) = 3.169,7 m (esta longitud incluye la longitud de la estación de Marly, ya eliminada en la Propuesta N°2, cuyo telescopio se transformó en túnel C&C).
- Longitud estimada de tratamientos sobre clave de túnel = 50% longitud del túnel = 1.584,9 m.
- Longitud estimada de tratamientos de protección de edificios = 2 x 80% longitud del túnel = 5.071,5 m.
- Costo unitario obra civil túnel entre pantallas ≈ 196 MCOP/m.
- Costo unitario obra civil túnel TBM ≈ 65 MCOP/m.
- Costo unitario tratamiento sobre clave (tienda canadiense) ≈ 40.5 MCOP/mtúnel 3.
- Costo unitario tratamiento protección edificios (pantallas de mortero) ≈ 5 MCOP/mtúnel.
- N° pozos a modificar =3 (se incluye el nuevo pozo a colocar en la ubicación de Marly)
- Costo unitario pozo tipo pantallas (tipo 2 según Propuesta N°8) ≈ 3.800 MCOP/pozo.
- Costo unitario pozo tipo TBM (tipo 1 según Propuesta N°8) ≈ 7.000 MCOP/pozo.

Ahorro CAPEX = 1.32 x [(196 MCOP - 65 MCOP) x 3.169,7 m - 40.5 MCOP x 1.584,9 m - 5 MCOP x 5.071,5 m - 3 x (7.000 MCOP-3.800 MCOP) x 1,1] = 415.965 MCOP.

El cambio de procedimiento constructivo implica realizar un 70% de longitud adicional de túnel respecto a la inicialmente prevista con la tuneladora 3. Para no incrementar por ello el plazo de ejecución de la obra, caben 2 posibles alternativas:

² Se exceptúa la estación Calle 127 cuya C.C. es -20.7.

³ Este costo se obtiene considerando un 50% de tiendas canadienses a ejecutar con jet-grouting (18 MCOP/m_{túnel}) y un 50% de tiendas canadienses a ejecutar con inyecciones de fracturación (63 MCOP/m_{túnel}).

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Utilizar una cuarta tuneladora que comenzaría a excavar en la estación Calle 85, desarrollándose la logística de la misma a lo largo del túnel entre pantallas adyacente a la estación Calle 85, que debería estar finalizado antes del arranque de la tuneladora.
- Adaptar el Plan de Obra previsto en el PBA, de forma que la excavación con la tuneladora desde el pozo de Tercer Milenio comenzase un año antes de lo previsto.

El cambio propuesto en el procedimiento constructivo del túnel no implica un incremento de los riesgos de construcción y operación.

Idea EST-12	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> □ Se mantiene la funcionalidad de la línea. □ Mejora el nivel de servicio en andenes. □ Se reduce la afección urbana (desvíos de servicios y tráfico) durante la fase de construcción. □ Ahorro estimado en CAPEX = 17.645 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> □ Se reduce la distancia a fachadas, pudiendo ser preciso un incremento de los tratamientos de protección.

La determinación del ahorro en CAPEX se ha realizado considerando los siguientes datos:

- Longitud de estación a sustituir por túnel TBM (reducción de la longitud de testeros) = 140,7 m4
 - Coste unitario obra civil túnel TBM \approx 65 MCOP/m.
 - Costo unitario tratamiento sobre clave (tienda canadiense) \approx 40.5 MCOP/mtúnel 5.
 - Costo unitario tratamiento protección edificios (pantallas de mortero) \approx 5 MCOP/mtúnel.
 - Costo total estimado estación Gran Colombia \approx 181.014 MCOP
 - Costo total estimado estación tipo II (pantallas) en sustitución de Gran Colombia \approx 151.3966
- Ahorro en CAPEX = $1.32 \times [(181.014 - 151.396) - 140.7 \times (65 + 40.5 + 5 \times 2)] = 17.645$ MCOP

El cambio en la tipología de estación Gran Colombia no implica un aumento de los riesgos de construcción y operación. Tampoco se estima que dé lugar a una variación en el plazo de obra.

Reuniendo ambas ideas, se obtienen las siguientes ventajas e inconvenientes para la Propuesta N° 5:

PROPUESTA N° 5 (Ideas agregadas TUN-1 y EST-12)	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> □ Se mantiene la funcionalidad de la línea. □ Mejora el nivel de servicio en andenes. □ Se reduce la afección urbana (desvíos de servicios y tráfico) durante la fase de construcción. □ Ahorro estimado en CAPEX = 433.609 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> □ Posible necesidad de una cuarta tuneladora, o necesidad de que la que parte de Parque Tercer Milenio, comience antes, para mantener el plazo de obra. □ Es necesario reorganizar el plan de obra. □ Se reduce la distancia a fachadas, pudiendo ser preciso un incremento de los tratamientos de protección.

⁴ Se consideran tratamientos de clave y de protección de edificio en la longitud completa de túnel.

⁵ Este costo se obtiene considerando un 50% de tiendas canadienses a ejecutar con jet-grouting (18 MCOP/m_{túnel}) y un 50% de tiendas canadienses a ejecutar con inyecciones de fracturación (63 MCOP/m_{túnel}).

⁶ Para la valoración de la nueva estación, se ha tomado como referencia la estación Parque 93, a la que se ha añadido un acceso adicional.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

5.6 Propuesta 6 - OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DEL TERRENO

Esta propuesta comprende las siguientes ideas desarrolladas durante el *workshop* de Ingeniería de Valor:

- i. Optimización de los tratamientos del terreno en tramos de túnel:
 - **TUN-2:** Optimización del tapón de fondo del túnel entre pantallas.
 - **TUN-3:** Optimización de los tratamientos de clave en túneles TBM.
- ii. Optimización de los tratamientos del terreno en estaciones:
 - **EST-13:** Optimización del tapón de fondo de jet-grouting en estaciones.

En el PBA se ha considerado, en todas las estaciones (EST-13) y en el tramo completo de túnel entre pantallas (TUN-2) la ejecución de un tapón continuo de jet-grouting en el fondo de excavación de espesor variable entre 4 y 10 m. Los objetivos que se persiguen con la ejecución de este tapón son los siguientes:

- Impermeabilizar el fondo de excavación, con el fin de reducir el caudal de infiltración a través del mismo.
- Evitar la rotura del fondo de excavación debido a la presencia de niveles cohesivos sometidos a una elevada presión de agua.
- Incrementar el empuje pasivo en el intradós de las pantallas a fin de reducir la deformación de éstas.

Teniendo en cuenta la variabilidad litológica a lo largo del trazado, el hecho de que se proponga en todas las estructuras entre pantallas la solución de un tapón continuo, hace pensar, encontrándose el proyecto en una fase de Básico, que se ha adoptado una solución de tipo general, del lado de la seguridad, y que ésta puede optimizarse en la fase de Proyecto Constructivo.

Como ejemplo de lo anterior, cabe destacar el caso de la estación Boyacá. Tal y como puede observarse en la siguiente figura, bajo el fondo de excavación se sitúan las unidades Qtb22, Qtb23 y QMA formadas por arcillas y limos de consistencia firme/muy firme con un porcentaje de finos superior al 80%.

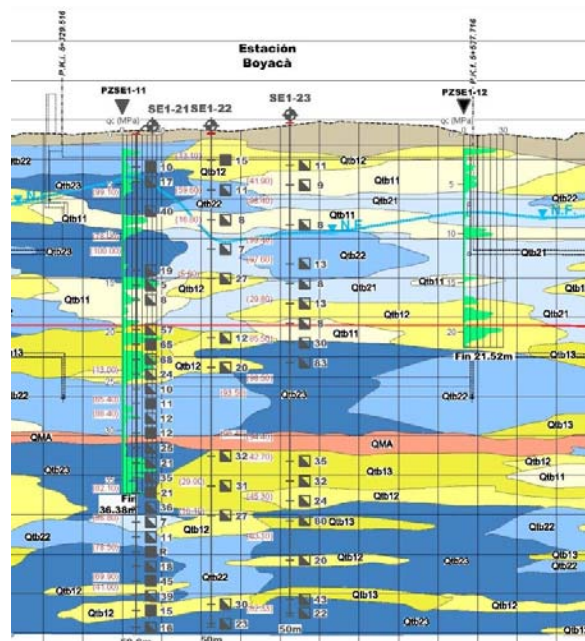


Figura: Perfil Geotécnico. Estación Boyacá

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Atendiendo a las características de estas unidades y a su potencia bajo el fondo de excavación, unos 6-8 m, cabe esperar que la afluencia de agua a través del mismo sea poco importante. Si es así, el tapón continuo de jet-grouting bajo el fondo de excavación podría sustituirse por puntales de jet que cumplirían con el objetivo, si fuera preciso, de incrementar el empuje pasivo en el intradós de las pantallas. En cuanto a la rotura de fondo, ésta pueda evitarse mediante la utilización de pozos de alivio capaces de reducir la presión de agua bajo los niveles cohesivos.

En conclusión, se considera que un análisis pormenorizado de cada estación y del tramo de túnel entre pantallas en la fase de Proyecto Constructivo puede permitir una optimización de los tratamientos del fondo de excavación propuestos en la fase de Proyecto Básico. Se ha estimado que esta optimización puede suponer un ahorro del 10% del CAPEX previsto para estos tratamientos, lo cual es un ahorro importante teniendo en cuenta que la ejecución del tapón de jet supone un 20% del costo de ejecución de la obra civil de cada estación y un 15% del costo de la obra civil del túnel entre pantallas.

La optimización del tapón de fondo constituye una propuesta puramente constructiva y no tiene ninguna influencia en la funcionalidad ni en el nivel de servicio de la línea. A efectos de plazo, la reducción del tapón en una determinada estación o tramo de túnel implica una reducción de su plazo de construcción, lo cual podría traducirse en una reducción del plazo de obra si la estación o tramo de túnel optimizado formasen parte del camino crítico del plan de obra.

La optimización del tapón de fondo no debe suponer un incremento del riesgo durante la construcción. En este sentido, se considera importante mantener las pantallas transversales de bentonita previstas para independizar recintos de excavación.

A continuación se resumen las ventajas e inconvenientes de esta propuesta.

Ideas TUN-2 y EST-13	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad y nivel de servicio de la línea. ▫ Se reduce el plazo de construcción de las estaciones y tramos de túnel entre pantallas con optimización de tratamiento, lo que implica una reducción de la afección urbana (plazo de los desvíos de tráfico) y una posible reducción del plazo de construcción. ▫ Ahorro estimado en CAPEX = 90.432 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ No se han identificado inconvenientes.

Cabe destacar que, en la determinación del ahorro en CAPEX, se han tenido en cuenta las siguientes hipótesis:

- Se ha estimado que la optimización del tratamiento permite una reducción del 10% de su costo en 25 estaciones. No se ha considerado, por tanto, optimización en las estaciones de Casablanca y Marly, dado que estas estaciones desaparecerían de acuerdo con la Propuesta N°2.
- El ahorro del tratamiento en el túnel entre pantallas (también valorado en un 10% del costo de ejecución previsto en PBA) sólo se ha considerado en el tramo de túnel situado entre Calle 85 y Calle 127, dado que, de acuerdo con la Propuesta N° 5, el tramo de túnel entre pantallas entre Gran Colombia y Calle 85 se sustituiría por túnel excavado con tuneladora.

Teniendo en cuenta lo anterior, el ahorro en CAPEX debido a la optimización de los tapones de jet-grouting se obtendría de la siguiente manera:

- Costo de ejecución del tapón de jet-grouting en estación tipo (PBA) ≈ 21.480 MCOP
- Ahorro estaciones ≈ 10% x Costo de Ejecución PBA x 25 estaciones ≈ 53.700 MCOP

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Costo de ejecución del tapón de jet-grouting en túnel Calle 85-Calle 127 (PBA) ≈148.094 MCOP
- Ahorro túnel ≈ 10% x Costo de Ejecución PBA ≈14.809 MCOP
- Total ahorro CAPEX tapón de jet (TUN-2 + EST-13) =1.32 x 68.509 MCOP = 90.432 MCOP

La idea TUN-3 se refiere a la posible optimización de los tratamientos previstos sobre clave en los tramos de túnel con tuneladora. El PBA contempla la realización de los siguientes tipos de tratamiento sobre clave:

- Tiendas canadienses con jet-grouting o inyecciones de fracturación.
- Taladros de inyección de mortero en clave.

De acuerdo con lo indicado en el PBA, estos tratamientos se aplican en los siguientes casos:

- Terreno de baja calidad geotécnica y recubrimiento escaso (≈ 1D).
- Terreno de calidad geotécnica media y recubrimiento mayor de 1D pero con niveles de bajo contenido en finos (< 15%).

De forma análoga a lo que se indica en el caso de los tratamientos del fondo de excavación con jet, se considera que un estudio pormenorizado, en fase de Proyecto Constructivo, de los distintos tramos de túnel TBM puede permitir una optimización de los tratamientos previstos sobre clave del túnel en fase de Proyecto Básico.

Como ejemplo de esta posible optimización, se destaca el tramo entre los PP.KK. 0+750-0+825 (tramo II) en donde se prevén inyecciones de mortero. Sin embargo, el recubrimiento, superior a 1D, y los materiales identificados sobre clave, Qtb11/Qtb12 (>25% finos), no permiten asegurar la necesidad de un tratamiento sobre clave, teniendo en cuenta, adicionalmente, la posibilidad de aplicar presión de frente (funcionamiento en modo cerrado de la EPB) para controlar la estabilidad de la excavación.

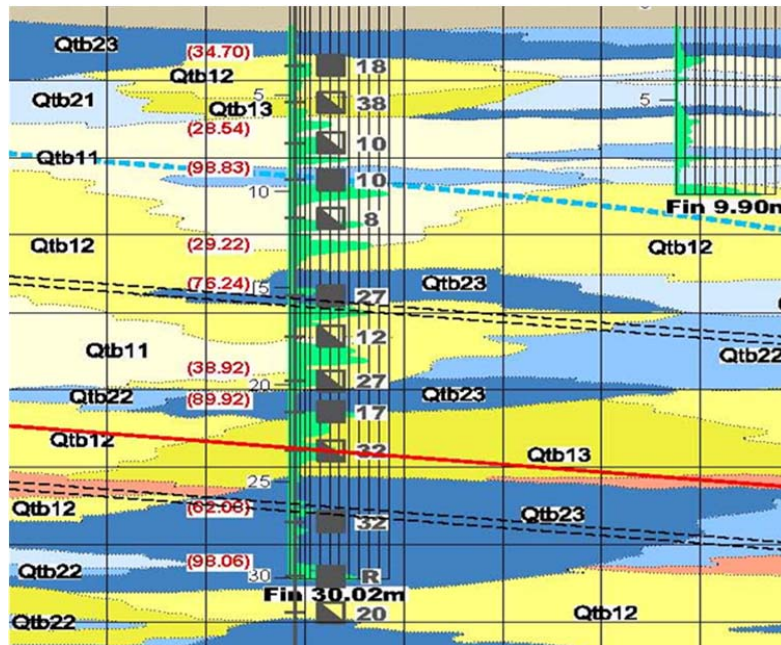


Figura: Perfil Geotécnico Tramo II. P.K. 0+750-P.K. 0+825

Al igual que en el caso del jet-grouting, se ha estimado una posible optimización de los tratamientos sobre clave en fase de Proyecto Constructivo del 10% del coste inicialmente previsto en PBA. Las ventajas e inconvenientes de esta idea son las siguientes:

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Idea TUN-3	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad y nivel de servicio de la línea. ▫ Se reduce ligeramente la afección temporal en superficie en los tramos de túnel TBM (desvíos de servicios y tráfico). ▫ Ahorro estimado en CAPEX = 9.244 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ No se han identificado inconvenientes.

En relación a la determinación del ahorro en CAPEX, cabe destacar que sólo se ha considerado una posible optimización de los tratamientos sobre clave en el tramo inicialmente previsto con TBM (hasta Estación Gran Colombia). De esta forma, el ahorro en CAPEX se ha estimado de la siguiente forma:

- Costo de ejecución de los tratamientos sobre clave ≈ 70.027 MCOP
- Ahorro tratamientos sobre clave $\approx 10\% \times$ Costo de Ejecución PBA ≈ 7.003 MCOP
- Ahorro CAPEX = 1.32×7.003 MCOP = 9.244 MCOP

Agregando las 3 ideas comentadas, se obtienen las siguientes ventajas e inconvenientes relativas a la Propuesta N°6:

PROPUESTA N°6 (Ideas agregadas TUN-2, TUN-3 y EST-13)	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad y nivel de servicio de la línea. ▫ Se reduce el plazo de construcción de las estaciones y tramos de túnel entre pantallas con optimización de tratamiento, lo que implica una reducción de la afección urbana (plazo de los desvíos de tráfico) y una posible reducción del plazo de construcción. ▫ Se reduce ligeramente la afección temporal en superficie en los tramos de túnel TBM (desvíos de servicios y tráfico). ▫ Ahorro estimado en <u>CAPEX</u> = <u>99.676 MCOP</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ No se han identificado inconvenientes.

5.7 Propuesta 7 - OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS FERROVIARIOS

Esta propuesta consiste en la agrupación de hasta cinco ideas independientes:

- **SEÑ-1:** Eliminar el sistema ATP de respaldo.
- **COM-1:** Integración Red de Voz, Datos y Video
- **PSD-1:** . Sistema de Apertura Selectiva de Puertas de Andén
- **PSD-2:** . Reducción Hueco Puertas de Andén - Tren
- **PCO-1:** Aumento del Nivel SIL en los Sistemas de Telemando y Telecontrol

5.7.1 Descripción y valoración de las ideas

SEÑ-1 Eliminar el sistema ATP de respaldo

El diseño básico avanzado prevé la instalación de un sistema ATP de respaldo para que cuando pueda averiarse el sistema principal de señalización del tren, es decir, el equipo CBTC embarcado, éste pueda continuar servicio, evitando que éste pueda rebasar señales o puntos protegidos, durante su retirada al taller en vacío.

En el caso de cuna caída del sistema CBTC de tierra, la mayor parte de los trenes avanzará hasta el límite impuesto por la última MA (Autorización de Movimiento) recibida. Normalmente será una estación. Los trenes que puedan quedar en túnel, se retirarán en modo ATP hasta la siguiente estación.

El fundamento de esta propuesta es que, a juicio de los redactores, el sistema CBTC se halla suficientemente redundado y no necesita un ATP de respaldo.

La propuesta SEÑ-1 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

Idea SEÑ-1	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad de la línea. ▫ Se mantiene la Disponibilidad de la línea. ▫ Se iguala la concurrencia ▫ Ahorro estimado en la inversión = 60.720 MCOP. ▫ Ahorro estimado en mantenimiento = 7.500 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Ligera reducción del nivel de seguridad en la retirada de un tren con el CBTC averiado en las dos cabeceras de tren. (situación muy improbable) y en la retirada de los trenes a cochera en el caso de fallo del sistema de tierra (en vacío)

COM-1: Integración Red de Voz, Datos y Video

La principal función de los sistemas de comunicación es la transmisión de Voz, Video y Datos entre dos puntos cualquiera de la línea. En función de la criticidad del sistema se le exigirá un determinado valor a su disponibilidad (a mayor automatización mayor criticidad).

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

El diseño actual de CL1 consiste en crear 3 redes independientes:

- Red de voz y datos
- Red de video
- Red para la señalización ferroviaria

Se propone unificar la red de voz y datos con la red de video, manteniendo independiente la red para la señalización ferroviaria.

Con esto se puede llegar a obtener una reducción de unos 20.000 MCOP en el CAPEX y unos 10.000 MCOP anuales a partir del 2021.

Idea COM-1	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
Reducción del CAPEX: 20.000 MCOP Reducción del OPEX (mantenimiento): 10.000 MCOP/año (2021) Aumento de la Disponibilidad.	

PSD-1: Sistema de Apertura Selectiva de Puertas de Andén

La PLMB estará compuesta por 27 estaciones. Considerando 2 sistemas de puerta por estación compuesto cada uno por 24 puertas, tenemos 1.296 puertas de andén en servicio. Esto se traduce en:

1296 x 846 Circulaciones = 1.096.416 Maniobras / día
--

El sistema de Puertas de Andén es un sistema de seguridad. Un problema en cualquier puerta se traduce muy probablemente en una parada de línea. Hay que recordar que no se puede autorizar la entrada o salida de un tren de una estación si no se tiene la seguridad de que todas las puertas del andén están correctamente cerradas y enclavadas.

Por ejemplo, supongamos que tenemos una tasa de fallo $\lambda=1/1.000.000$, es decir, 1 fallo cada 1.000.000 maniobras y un tiempo medio reparación por puerta de 30 minutos, implica que podría llegar a tener parada la línea 30 minutos cada día.

La instalación de botones de Apertura Selectiva reducen notablemente el número de maniobras y por tanto el número de averías y por ende, la probabilidad de indisponibilidad de la línea.

Si $T_{\text{valle}} = 75\% T_{\text{punta}}$.

Y Maniobras en T_{valle} 33%

Evitamos un 50 % de Maniobras y por tanto, reducimos la probabilidad de avería de forma muy considerable.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Idea PSD-1	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Aumento de la Disponibilidad global del Sistema</p> <p>Reducción en un 50% de las Maniobras de las PSD</p> <p>Reducción de los costes de mantenimiento.</p> <p>Reducción de los costes asociados a la climatización del tren.</p> <p>Posibles sobrecosto en CAPEX: 500 MUSD</p> <p>Posibles ahorros en OPEX: 750 MUSD/año</p>	<p>Se complica la interface existente entre el Sistema de Puertas de Andén y el Tren.</p>

PSD-2: Reducción Huevo Puertas de Andén - Tren

Según se establece en el Diseño Básico, “Los huecos mayores de 60 mm (en caso de existir) pueden necesitar el uso de un sistema de detección de hueco en el lado de la vía, para asegurar que el hueco esté libre, antes de que el tren abandone la estación.”

Este tipo de sistemas, con funciones de seguridad, suponen un nuevo elemento que aumenta las probabilidades de indisponibilidad de la línea por lo que deben ser evitados siempre que desde un punto de vista de la seguridad sea posible.

En el caso de la PLMB, una de las vías que pueden evitar su instalación es la reducción del gálibo dinámico del tren en estación.

El gálibo dinámico depende principalmente de la velocidad del vehículo. Por tanto, si limitamos la velocidad máxima permitida en estación sin afectar la velocidad comercial, reduciremos considerablemente el gálibo dinámico previsto y por tanto, podremos acercar el andén y las puertas de andén a la vía y reducir por ende, el hueco entre PSD y tren.

Por ello proponemos establecer una Vmax de diseño en estación de los 90 km/h previstos a **65 km/h**.

Idea PSD-2	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Aumento de la Disponibilidad global del Sistema al no necesitar o simplificar los sistemas de detección en huecos tren - PSD.</p> <p>Reducción gap andren/tren</p> <p>Posible reducción del coste del Sistema (ahorro CAPEX): 2.500 MCOP</p>	<p>En caso de querer realizar servicios tipo semidirectos (no posibles en la actual configuración) sin parada en estación, la velocidad máxima de paso por estación queda limitada a 65 km/h.</p>

PCO-1: Aumento del Nivel SIL en los Sistemas de Telemando y Telecontrol

Actualmente se exige un Nivel de Seguridad SIL 0 para los distintos telemandos del PCO. Es decir, no se puede realizar ninguna operación que afecte a la seguridad en función de la información/controles disponibles en el PCO.

Esto implica por ejemplo, que la autorización de bajar a vía en función del estado de energización de la catenaria no se podría dar desde el Puesto de Mando Central ya que no tendríamos la certeza de que esta se encuentra sin tensión a partir de la información de las pantallas.

Por estas razones, se propone requerir para los principales sistemas de Telemando (tráfico y energía) niveles de seguridad mayores (SIL2 / SIL3) que permitan la realización de funciones de seguridad, siempre de acuerdo con el estado del arte de la tecnología.



5.7.2 Estimación de ahorros de la Propuesta

La suma de los ahorros estimados del conjunto de las 5 ideas agregadas de la presente propuesta asciende a:

- CAPEX: 89.620 MCOP
- OPEX: 18.250 MCOP (2021)

5.8 Propuesta 8 - OPTIMIZACIÓN DE LOS POZOS DE SALIDA DE EMERGENCIA

Esta propuesta integra una sola de las ideas desarrolladas durante el *workshop* de Ingeniería de Valor:

➤ **POZ-1. Modificación de la tipología estructural de los pozos de salida de emergencia.**

El Proyecto Básico Avanzado de la PLMB incluye la construcción de 11 pozos de salida de emergencia a lo largo de la línea. Se han considerado tres tipologías estructurales⁷ para estos pozos en función de su ubicación. A continuación se incluyen sus principales características en relación a la obra civil:

- i. 4 Pozos Tipo 1 (SE-1 a SE-4, en tramos de túnel con TBM)
 - Dimensiones en planta = 19 m x 22 m (aprox).
 - Acceso al pozo desde ambos hastiales del túnel.
 - Estructura entre pantallas, de 1.2 m de espesor y 40-45 m de profundidad.
 - 2 esclusas en ambos extremos para permitir el arrastre de la tuneladora a través del recinto.
 - Tapón de fondo de jet grouting.
 - Costo de ejecución estimado por pozo ≈ 11.000 MCOP.⁸
- ii. 6 Pozos Tipo 2 (SE-7 a SE-12, en tramos de túnel entre pantallas)
 - Dimensiones en planta = 16 m x 22 m (aprox).
 - Acceso al pozo desde ambos hastiales del túnel.
 - Estructura entre pantallas, de 1.2 m de espesor y 30-35 m de profundidad.
 - Tapón de fondo de jet grouting.
 - Costo de ejecución estimado por pozo ≈ 7.600 MCOP.

iii. 1 Pozo Tipo 3 (SE-6 bajo Estación Museo Nacional de Transmilenio)

La salida de emergencia N° 6, situada en el P.K. 1+953 del tramo III, entre las estaciones de La Rebeca y Parque Nacional, presenta una tipología totalmente distinta debido a la presencia en superficie de la estación de Transmilenio (Museo Nacional) ejecutada entre pantallas. Esta salida de emergencia consta de 2 pozos independientes de unos 19 m x 8 m conectados con el túnel TBM mediante galerías de conexión de 4 m x 4 m (dimensiones interiores). La excavación en mina de estas galerías se realiza gracias a un tratamiento previo del terreno mediante inyecciones de fracturación. La pantallas tiene 51.5 m de longitud y 1.2 m de espesor. El coste de ejecución estimado es de 13.385 MCOP.

Atendiendo a los criterios de diseño especificados por la norma *NFPA-130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems* (2014), una de las normas consideradas en el diseño de los pozos, y a la práctica internacional, se propone modificar la tipología estructural de las salidas de emergencia permitiendo la evacuación del túnel desde un único hastial. De acuerdo con esta propuesta, las principales características de los pozos serían las siguientes:

- i. 4 Pozos Tipo 1 y un pozo Tipo 3 (SE-1 a SE-4 y S-6) situados en tramos de túnel TBM:
 - Evacuación desde un único hastial → un único pozo de salida entre pantallas.
 - Dimensiones y estructura del pozo de salida similares a las de los pozos de la SE-6 del PBA.

⁷ La salida SE-5 se encuentra integrada como parte del pozo de ataque situado en el parque Tercer Milenio.

⁸ El costo indicado se han obtenido de la *Matriz Presupuestal Línea* del PBA para uno pozo tipo dentro de esta tipología. Este costo incluye la excavación, estructura, tratamientos, arquitectura e instalaciones del pozo. No incluye la urbanización ni desvíos necesarios, que se valoran en un 10% adicional. Idem pozos tipo 2 y 3.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- Los pozos se ubican, en la medida de lo posible, exteriormente a los viales (aceras o zonas ajardinadas).
 - Conexión túnel- pozo mediante galería subterránea excavada con métodos convencionales.
 - Tratamiento de jet-grouting en fondo de excavación del pozo y alrededor de la galería de conexión.
 - Galería de conexión menor a la propuesta en el Pozo Tipo 3 del PBA.
- ii. Pozo Tipo 2 (SE-7 a SE-12):
- Evacuación desde un único hastial → un único pozo como ensanchamiento de la sección tipo del túnel.
 - Dimensiones y estructura del pozo de salida similares a las de los pozos de la SE-6 del PBA.
 - Los pozos se ubican, en la medida de lo posible, exteriormente a los viales (aceras o zonas ajardinadas).
 - Tratamiento de jet-grouting en fondo de excavación del pozo.

El cambio de tipología de los pozos presenta las siguientes ventajas e inconvenientes:

PROPUESTA N°8 (Idea POZ-1)	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ▫ Se mantiene la funcionalidad y nivel de servicio de la línea. ▫ Se reduce la afección urbana durante la construcción. ▫ Mejora del rendimiento de la excavación con TBM. No es necesario el arrastre de TBMs a través de pozos. ▫ Ahorro estimado en CAPEX = 60.456 MCOP 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ La evacuación de viajeros se realiza desde un único hastial (necesario el cruce de vías). No obstante, la propuesta es compatible con la NFPA-130 de uso habitual internacionalmente.

El ahorro en CAPEX se ha determinado de la siguiente forma:

- Costo ejecución nuevo Pozo Tipo 1 ≈ 50% Costo ejecución Pozo Tipo 3 PBA ≈ 7.000 MCOP
- Ahorro Pozos Tipo 1 = (11.000 MCOP-7.000 MCOP) x 4 uds = 16.000 MCOP
- Costo ejecución nuevo Pozo Tipo 3 ≈ 50% Costo ejecución Pozo Tipo 3 PBA ≈ 7.000 MCOP
- Ahorro Pozo Tipo 3 = 7.000 MCOP
- Costo ejecución nuevo Pozo Tipo 2 ≈ 50% Costo ejecución Pozo Tipo 2 PBA ≈ 3.800 MCOP
- Ahorro Pozos Tipo 1 = 3.800 x 6 uds = 22.800 MCOP
- Ahorro total coste de ejecución ≈ 45.800 MCOP
- **Ahorro CAPEX (Presupuesto para conocimiento del Distrito) ≈ 1.32 x 45.800 = 60.456 MCOP**

En la estimación del ahorro de CAPEX no se ha tenido en cuenta el pequeño ahorro adicional derivado de la optimización de la sección de las galerías de conexión. Tampoco se ha considerado un posible ahorro como consecuencia de la optimización del tratamiento de jet en el fondo de excavación de los pozos. En fase de Proyecto Constructivo, se recomienda analizar estos aspectos del diseño, con el fin de poder incrementar el ahorro estimado en el ejercicio de Ingeniería de Valor.

Esta propuesta de cambio de tipología de los pozos podría permitir una ligera reducción en el plazo de excavación de los tramos de túnel TBM, al no ser preciso el arrastre de tuneladoras a través del recinto de los pozos. No obstante, no se ha tenido en cuenta esta posible ventaja de cara a la valoración de la propuesta.

Se considera que esta propuesta no supone un incremento de riesgo ni en fase de construcción ni en fase de operación. En caso de emergencia, la evacuación de viajeros debería realizarse a través de un único hastial del túnel. No obstante, la NFPA-130, normativa utilizada ampliamente a nivel internacional en el diseño de sistemas de metro, permite la evacuación a través de un único hastial.

5.9 Propuesta 9 - OBTENCIÓN DE INGRESOS ATÍPICOS

Esta propuesta consiste en la agrupación de tres ideas independientes, dos del grupo OPEX y una de Puertas de andén:

- **OPX-1: Ingresos atípicos por alquiler de espacios en estaciones.**
- **OPX-2: Ingresos atípicos por publicidad en trenes y estaciones.**
- **PSD-3: Incorporar pantallas mixtas de información y publicidad en puertas de andén.**

En la idea OPX-1 se trata reducir el coste operacional de la línea mediante la generación de ingresos atípicos obtenidos por el alquiler de los espacios laterales de la *mezzanina* de las estaciones en donde se pueden ubicar locales comerciales. La experiencia de otras redes de metro, como en la de Barcelona, indica que con estos ingresos se pueden llegar a cubrir gran parte de los consumos de la estación, en ciertas estaciones céntricas con abundante demanda, muy atractivas para ciertos tipos de comercio.

La idea OPX-2, complementaria de la anterior, propone aportar más ingresos atípicos mediante la licitación de espacios publicitarios en trenes y estaciones. Tradicionalmente, el alquiler de espacios publicitarios es una fuente notable de ingresos para las empresas de transporte público metropolitano del mundo y contribuye fuertemente a sufragar los costes de explotación de la red.

Se propone por tanto establecer contactos con entidades publicitarias acreditadas para analizar los usos de los futuros espacios del Metro con fines publicitarios: trenes y estaciones (opis).

Asimismo, los sistemas de información al público, pueden sostener canales de información general que incluyan publicidad de pago.

La idea PSD-3 se generó inicialmente durante el análisis del subsistema de puertas de andén. Efectivamente, los espacios entre puertas o la banda superior de las mismas, cuando ésta existe, es un espacio ideal para la instalación de paneles o pantallas que pueden soportar información del servicio de transporte pero también publicidad, noticias y cualquier otro tipo de información audiovisual. La coincidencia con la idea OPX-2 es manifiesta y así se llegó a la propuesta de agrupación presente.

No se han estimado en detalle los ahorros de OPEX alcanzables por estos ingresos atípicos aunque, a la luz de la experiencia de otras redes, se estima que a pleno rendimiento se podrían alcanzar los 1.420 M COP/año.

EN RESUMEN, se plantea que dada la disponibilidad de espacio no afecto a flujos de viajeros en las *mezzaninas* de las estaciones, se emplee parte de este espacio para disponer locales comerciales y alquilar los mismos. Al mismo tiempo se puede autorizar la instalación de espacios publicitarios en trenes y estaciones así como disponer paneles informativos en las puertas de andén, los cuales pueden transmitir mensajes publicitarios además de información al viajero. En conjunto, los ingresos generados, sin un incremento significativo de CAPEX (puesto que las adecuaciones necesarias pueden correr a cargo de los interesados), pueden suponer importantes ahorros de **OPEX**, que se han valorado sin gran detalle en unos **1.400 M COP/año**.



6 PROPUESTAS RELATIVAS A LA EJECUCIÓN POR FASES DE LA PLMB

Algunas de las ideas surgidas en el Taller de Ingeniería de Valor que hacen referencia a la ejecución por fases pueden ser consideradas en mayor o menor medida, de forma independiente, para ser tenidas en consideración en los estudios posteriores. El objetivo fundamental es laminar la inversión.

Sin embargo, en el cómputo total del ciclo de vida completo, el CAPEX aumenta ligeramente. En cambio, en los costes financieros derivados de la obtención de recursos y, en general en el OPEX resultante, pueden alcanzarse ahorros importantes con adecuados modelos de explotación. En ciertos casos se deriva un trasvase de CAPEX a OPEX, que conviene analizar cuidadosamente para obtener el equilibrio óptimo.

En total, se han definido hasta **5 propuestas de ideas relativas a la ejecución por fases:**

- 3 propuestas de ejecución diferida de obras e instalaciones (MOP-2, PTC-1 y ENE-2)
- 2 propuestas de ejecución de la Línea por tramos

Una ejecución por fases tiene las siguientes repercusiones:

a) Ventajas:

- Reducción de disponibilidad económica inicial para la primera inversión (suele ser el objetivo principal de la ejecución por fases, cuando los recursos iniciales son limitados).
- Laminación de la inversión en CAPEX en el tiempo (facilita la dilación de los recursos y los costes financieros de inversión si dichos recursos son adquiridos a través de deuda).
- Reducción inicial de OPEX, en la medida que la inversión inicial es menor (es un objetivo secundario, pero no despreciable; en algunos casos, para algunos diseños, puede ser incluso determinante). Normalmente el OPEX aumenta en el cómputo total en el ciclo de vida del Proyecto.
- Conocimiento de tendencias y comportamiento de la demanda en el tiempo, el funcionamiento de los sistemas y su mantenibilidad, por lo que permite corregir posibles errores o disfunciones en la operación, antes de ejecutar fases posteriores.
- Adaptación más eficiente de la oferta a la demanda y, en general, de las prestaciones a las necesidades. Es decir, se va invirtiendo a medida que se necesita. Por lo tanto, su consideración puede suponer que la inversión sea más eficiente a lo largo del ciclo de vida del Proyecto (objeto básico de la Ingeniería de Valor).

b) Inconvenientes:

- Incremento de coste de inversión total, puesto que las ampliaciones siempre suponen un sobrecoste, tanto durante el inicio (obras que no haría falta hacer o que no sirven en la primera puesta en servicio pero se han de dejar "preparadas") como durante la ejecución de fases posteriores (demoliciones y modificaciones sobre la situación inicial). Normalmente el CAPEX aumenta ligeramente en el cómputo total en el ciclo de vida del Proyecto.
- El OPEX puede experimentar algún incremento parcial, si la laminación del CAPEX se prevé a costa de incrementar el OPEX (p.e la adquisición mediante *renting* de ciertos equipos). En tales casos o en circunstancias parecidas, el OPEX también puede aumentar en el cómputo total de vida del Proyecto, por lo que es imprescindible realizar un análisis económico-financiero cuidadoso antes de tomar una decisión.
- Posible pérdida de alguna funcionalidad inicial (tramos que se ponen en servicio más tarde y/o con inferiores niveles de servicio).
- Molestias temporales sobre la explotación (operación y/o mantenimiento, dependiendo de la fase ejecutada), que en la mayor parte de las veces se traduce en unos costos adicionales para el operador y molestias para el usuario.

Como resumen final, puede afirmarse que el equilibrio CAPEX&OPEX en una ejecución por fases se decanta positivamente, en general, hacia el OPEX. Pero hay que considerar que respecto a una ejecución total, en una ejecución por fases:

- El CAPEX inicial es menor, pero el total aumenta (cómputo total)

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

- El OPEX inicial es menor, pero en la fase final es el mismo (en el cómputo total puede aumentar o disminuir, según cómo se haya diseñado la ejecución por fases)

Se insiste en que es necesario realizar un análisis económico-financiero cuidadoso, que abarque el ciclo completo de vida del proyecto, teniendo en cuenta todas estas consideraciones, antes de definir las fases de ejecución de la PLMB. Lo que dependerá también, del sistema de construcción y explotación de la línea, porque intervienen otros factores como los riesgos a asumir por la Propiedad y el sistema de financiación adoptado.

6.1.1 Ejecución diferida de obras e instalaciones

MOP-2 - Establecer servicios parciales mediante dos carruseles

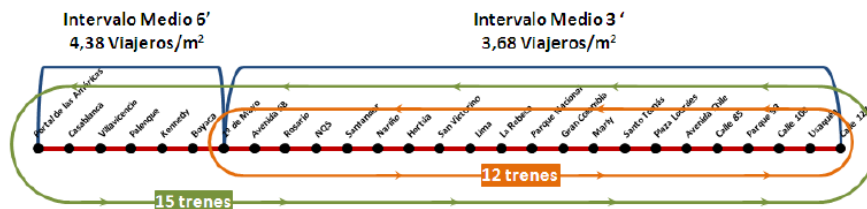
Si al momento de inicio de la operación no se dispone de capital suficiente para adquirir el parque de material rodante previsto y el crecimiento de la demanda se escalona, es posible iniciar la operación con menos parque y una ligera disminución de la frecuencia de paso y del confort de viaje. Para ello, la idea MOP-2 propone crear un plan de oferta que contemple los servicios parciales que ya se describen y analizan en el diseño básico avanzado de CL1:

- Una línea entre Portal de las Américas y Calle 127.
- Una línea parcial entre 1º Mayo y Calle 127.

De este modo se establece una oferta de servicio en base a dos bucles de trenes con intervalos de 6 min en cada uno y 3 en el tramo común entre 1º de Mayo y Calle 127.

En función del incremento de demanda que se produzca se podrá modificar la oferta, pasando a un carrusel único de origen a final de la línea.

**SERVICIO CON BUCLE EN 1º MAYO. SENTIDO MÁS CARGADO.
PORTAL DE LAS AMÉRICAS – CALLE 127**



Fuente: CL1

La propuesta MOP-2 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

Idea MOP-2	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Se reduce el parque de trenes en operación en los primeros años de vida de la línea: de 36 a 27 y la flota total de 40 a 30.</p> <p>Se adecúa mejor la inversión en material rodante a la demanda.</p> <p>Se reduce el OPEX al reducir el recorrido de la flota.</p> <p>Ahorro inversión inicial = 278.640 MCOP</p>	<p>Ligero aumento de la ocupación y decremento del confort en el tramo Portal Américas - 1º de Mayo.</p> <p>Incremento del intervalo de paso en el trayecto mencionado,</p>

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

En resumen, aun cuando no se dispusiese del capital necesario para la adquisición de la flota de trenes, sería posible un inicio de la operación con sólo 30 trenes mediante programa de oferta basada en servicios parciales. El ahorro en el primer establecimiento alcanzaría **278.640 M COP** hasta que se tuviese que ir completando la flota, ante el incremento de demanda.

PTC-1-Construcción de los Talleres por fases

La idea PTC-1 describe la posibilidad de construir las instalaciones básicas del taller de primer nivel y analizar si se pueden realizar las tareas de 2º y 3º nivel en la industria externa. En el diseño básico avanzado se proyecta un taller completo para la PLMB, el cual atiende a todas las necesidades de conservación y reparación de la línea y del material rodante. Para ello, el área de fosos de mantenimiento menor ocupa unos 7.000 m² aproximadamente, mientras que el área de mantenimiento mayor con sus secciones correspondientes y almacén ocupa 33.000 m².

Si bien el proyecto no se halla sobredimensionado para la flota de trenes y las operaciones a realizar sobre los mismos, cabe preguntarse si existen alternativas a la del mantenimiento integral en este taller, así como si sería posible el aprovechamiento de otras instalaciones industriales para las labores de tercer nivel que realizan las secciones mecánicas, electrónicas y electro-neumáticas. Ello permitiría un crecimiento gradual de las instalaciones a medida que se asentase la explotación de la PLMB, consiguiendo el objetivo de laminar la inversión en años sucesivos.

El monto de la inversión en Talleres y Cocheras asciende a 465.103 millones de COP (177 M€) sin tener en cuenta el coste de los terrenos en los que se ubica. Esta inversión podría reducirse en el primer establecimiento limitando la construcción inicial sólo al de 1er nivel hasta que se alcance la edad de la flota necesaria para iniciar las tareas de gran mantenimiento.

La propuesta PTC-1 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

Idea PTC-1	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Se lamina la inversión necesaria para la puesta en marcha</p> <p>Ahorro estimado en la inversión = 60% del presupuesto del Taller Principal.</p>	<p>Molestias por la coexistencia de obras de acabados y ampliación con las actividades propias de mantenimiento.</p>

En resumen, la construcción de los Talleres y Cocheras puede laminarse por fases, acompasándola a la programación de las necesidades de mantenimiento de la flota de trenes así como al modelo final que se adopte para la ejecución del segundo y tercer niveles, los cuales podrían ser realizados por el operador o bien por empresas externas, filiales de los proveedores o fórmulas mixtas. Esta solución no ahorra CAPEX pero permite laminar su disposición en los primeros años de operación, ahorrando hasta un 60 % del coste total en el momento del inicio de la operación (año 2021).

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

ENE-2 - Dimensionamiento de las receptoras por fases

Es muy frecuente que haya un desfase importante entre el dimensionamiento eléctrico en fase de proyecto con respecto a los datos reales de explotación. Ello comporta un sobredimensionamiento de las instalaciones eléctricas, con los sobrecostos que ello comporta.

Dado que se ha previsto que la capacidad de servicio aumente en diferentes fases hasta alcanzar el escenario final 2050, planteamos el estudio y análisis de una explotación de la primera fase con una ó dos receptoras adaptadas a las necesidades energéticas de esa primera fase, para, una vez en servicio el primer escenario y ya con datos reales de explotación, plantear entonces el dimensionamiento del resto del sistema eléctrico.

Con dimensionamiento eléctrico adaptado a las necesidades reales se reduce la inversión, pudiéndose ajustar el dimensionamiento de los siguientes equipos:

- Potencia de los transformadores y del resto de aparamenta de la receptora.
- Conexiones eléctricas con la compañía eléctrica (CODENSA).
- Potencia de rectificación de las subestaciones de tracción.
- Ocupación de espacio requerido para las instalaciones.

Por otra parte, los costes de operación se reducen en aproximadamente 500€/ (año·MVA sobreestimado), debido a las pérdidas en el hierro de los transformadores.

6.1.2 Ejecución de la Línea por tramos

Teniendo en cuenta la situación del patio de Talleres y Cochera, se presentan diferentes posibilidades de ejecución por tramos de la Línea.

El inicio debe ser siempre desde la estación Portal de las Américas, por el motivo antes expresado. Las diferentes opciones se hallan en el lado Norte de la Línea.

Una primera opción es finalizar la construcción de la primera fase en **Calle 85**, aprovechando la Propuesta N° 5, de prolongación de la tuneladora hasta esta estación. Esto significa que la totalidad del túnel en esta primera fase se ejecuta mediante TBM. Esto tendría los siguientes efectos:

- Demanda satisfecha: unos 2/3 del total para la Línea completa
- Costo de inversión de la fase: sobre el **80%** del total de la Línea completa

Una segunda opción es llegar a **Calle 100**, aprovechando la circunstancia de que en esa zona se debe construir una estación de autobuses, permitiendo un intercambio modal importante. Los efectos, en este caso, serían:

- Demanda satisfecha: sobre el 85% del total para la Línea completa
- Costo de inversión de la fase: sobre el **87%** del total de la Línea completa

Naturalmente, cuanto más nos acercamos al final de la Línea (Calle 127), los porcentajes de demanda satisfecha y de costo de inversión, van convergiendo al 100%.

La conclusión es que la inversión más eficiente, dado que el patio de Talleres y Cochera está previsto en Bosa 37, es la que supone la construcción de la Línea completa. La ejecución de la Línea por tramos sólo tiene sentido si la disponibilidad de recursos iniciales es limitada y es necesario laminar la inversión total.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

7 PROPUESTAS RELATIVAS A LOS PRECIOS UNITARIOS Y AL MERCADO DE LA CONSTRUCCIÓN

Este conjunto de ideas o propuestas, si bien pueden ser “monetizables”, no se han incluido entre las del primer grupo, pues están sujetas a la situación particular del mercado local y del mercado internacional, y a la coyuntura mundial. Se analiza con profusión el mercado actual de la construcción, la incidencia en el costo de la obra y se indican posibles ahorros, en una amplia horquilla, si bien con cierto riesgo de volatilidad.

Para el análisis del presupuesto del proyecto PLMB se dividió el análisis en dos componentes, el primer componente está relacionado con los costos directos de construcción, para lo cual se identificaron los ítems representativos o ítems Pareto del proyecto. En segundo lugar, se analizó el componente correspondiente a los costos indirectos asociados como un porcentaje de los costos directos, dichos costos involucran lo referente a la administración, imprevistos y utilidad del contratista constructor (AIU). En el **Apéndice 6** se incluye una exposición detallada.

7.1 Costos Directos

Para la desagregación de costos se partió de la información consolidada por obras, donde el 82% de los costos se concentran en la obra civil directamente asociada a la línea y estaciones y al suministro del material rodante. En la siguiente tabla se presentan los ítems representativos por su costo y relevancia en el presupuesto:

Ítem	Costo (M COP)	% de las obras Pareto	% de costo directo
Concretos	\$ 1.663.929	18,82%	15,43%
Aceros	\$ 1.609.428	18,21%	14,92%
Tratamiento Jet Grouting	\$ 1.122.200	12,69%	10,40%
Excavaciones	\$ 1.097.721	12,42%	10,18%
Excavación. TBM	\$ 483.343	5,47%	4,48%
Material rodante	\$ 1.132.802	12,81%	10,50%
Otros ítems	\$ 1.730.429	19,58%	16,04%
Total	\$ 8.839.851	100,00%	81,95%

Adicionalmente, para los costos restantes, 18%, se realizó un análisis similar y no se evidenció una concentración importante en algún o algunos ítems en particular, los de mayor peso corresponden a rellenos con el 1,1% y pavimentos con el 0,98% de los costos totales.

Para los ítems de la tabla anterior se realizó un análisis comparativo con precios referenciales de proyectos construidos o en construcción, de manera que permitiera evidenciar el orden de magnitud de los mismos, bajo condiciones de precios reales de construcción. Igualmente, se consultaron algunas fuentes adicionales con el propósito de tener conceptos de órdenes de magnitud y no como un estudio de mercado. Los precios evaluados corresponden a precios sin AIU.

7.1.1 Concreto convencional

Se analizó una muestra de 65 datos de concretos en al menos 14 proyectos, como resultado se obtuvo una curva de distribución de probabilidad en la que el mayor número de registros de la muestra se centran sobre el rango de los 300 USD/m³, con un valor medio de 399 USD/m³ y una desviación estándar de 146 USD/m³, valores superiores a los 214 USD/m³ empleados en el presupuesto de CL1.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4
7.1.2 Acero

Se analizó una muestra de 33 datos de 14 proyectos de referencia, obteniéndose una curva de distribución de probabilidad con un valor medio de 1.94 USD/Kg con una desviación de 0.38 USD/Kg, valor superior a los 1.42 USD/Kg empleados en el presupuesto de CL1.

Adicionalmente, tanto para el acero como para el cemento, el comportamiento de los índices de la construcción pesada del DANE y los índices de la Bureau of Labor Statistics (BLS) de Estados Unidos presentan una constante tendencia de crecimiento en los últimos años.

7.1.3 Excavación de pantallas

Se evaluó información de algunos proyectos en Bogotá de manera referencial y en términos generales se evidenció un valor promedio del orden de 212 USD/m³ contra los 174 USD/m³ de CL1. Es importante resaltar todos los procesos asociados que conlleva los trabajos de excavación como son: transporte de los sobrantes de excavación a botaderos autorizados, derechos de botadero, manejo de lodos y simultaneidad de frentes. Para esta última condición, de acuerdo con las cantidades requeridas para el proyecto y partiendo de un rendimiento de 40m³-día exigiría al menos 50 equipos trabajando en paralelo para adelantar los trabajos en un periodo de 2.3 años.

7.1.4 Excavación con TBM

Para el caso de la excavación con TBM y el respectivo revestimiento con dovelas en concreto, si bien los costos están dentro del rango de costos referenciales de 24.300 a 27.500 USD/m, el impacto del costo del concreto de las dovelas podría incrementar el presupuesto de esta obra.

7.1.5 Material rodante

Para este componente que representa un 10% del total del proyecto se aprecia que las fuentes adoptadas para la valoración de costos están acordes con las condiciones del proyecto tal y como se expresa en el capítulo de "Material móvil, operación y mantenimiento ferroviario, patio y talleres y cochera", donde adicionalmente se trata el tema del mercado asiático, condición que puede generar una opción técnica aceptable, con un beneficio económico del orden del 10 al 14%.

7.1.6 Impacto general

En la siguiente tabla se presenta los resultados de la comparación de costos del presupuesto con precios referenciales de proyectos:

Ítem	Un.	Cantidad	Costo Unitario CL1 (COP)	Costo UnitarioCL1 (USD)	Costo Referencial (USD)*	% Incremento respecto a los costos directos
Concretos	m ³	3.485.167	\$ 437.300	\$ 219	\$ 300,00	5,7%
Aceros	t	470.455	\$ 2.837	\$ 1,42	\$ 2,00	6,1%
Excavación pantallas	m ³	1.647.079	\$ 348.155	\$ 174	\$ 212,00	1,1%
Excavación TBMra	m	12.093	\$ 39.968.543	\$ 20.005	\$ 24.300	-
Dovelas	m	12.093	\$ 11.565.624	\$ 5.789	\$ 27.500	-
					Total	13,0%

En total para los ítems representativos el costo total del proyecto podría incrementarse hasta en un 13,0% antes de AIU, evaluando los ítems con los valores promedio de los precios referenciales analizados. Si bien el orden de magnitud de los trabajos es bien importante y podría redundar en beneficios por economías de escala, los

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

oligopolios presentes en el tema de concretos y cementos puede ver afectados dichos márgenes debido a la fuerte demanda que se genere y a la poca oferta, generando por el contrario un aumento de los precios, que a su vez podría afectar otros sectores de la construcción.

7.2 Costos Indirectos: Administración, Imprevistos y Utilidad

Los costos indirectos del proyecto están establecidos como un porcentaje de los costos directos, los cuales involucran los componentes de administración, imprevistos y utilidad del contratista constructor. Para la valoración del porcentaje empleado para el proyecto PLMB se analizó una muestra de valores de AIU correspondiente a proyectos referenciales con inversiones significativas (hidroeléctricas y vías), con la finalidad de establecer un rango de variación e identificar factores que puedan incidir de forma positiva o negativa en los costos del proyecto.

Del análisis de los valores de AIU para los proyectos viales referenciales se identificó un rango de variación entre el 27 y 30% (promedio 29,1%), valores que incluyen un porcentaje de imprevistos del orden del 1 al 5%. Para los proyectos hidroeléctricos, (a partir de la curva de distribución de probabilidades) el valor medio corresponde a un valor de 41.91% con una desviación estándar de 10%, donde los valores con mayor frecuencia se localizan sobre el rango de 35 a 40%.

En general, el porcentaje de costos indirectos estimado por CL1 de 25,5%; 22,5% de administración, 3% de utilidad y 0% de imprevistos, es inferior al promedio de 29,1% de los valores analizados. Es importante resaltar que todo proyecto conlleva una serie de incertidumbres y riesgos que son valorados y transferidos a los costos del proyecto, por lo tanto debería incluirse en la estimación de costos un porcentaje por este concepto, lo que podría incrementar el presupuesto del orden del 1 a 2%.

Dentro de la valoración y aplicación del AIU a los costos directos es importante resaltar la aplicación de dicho porcentaje a las actividades con un componente importante de suministros importados, como es el caso del material rodante, esto en razón que estos rubros no corresponde a un servicio, sino a un suministro que tiene un costo menor de obra civil, el cual corresponde básicamente a los trabajos de montaje.

La condición anteriormente mencionada es aplicable para todos los equipos y suministros importados que representen un porcentaje importante del ítem final de pago, como por ejemplo todos los sistemas de control y comunicación, que representan cerca del 9% del total del contrato. Esta condición podrían reducir en dichos ítems los costos indirectos entre el 10 y 15%.

7.3 Exención de impuestos e IVA

Dentro de las alternativas de reducción de costos está la exoneración de impuestos, aranceles e IVA a los suministros, importados y nacionales, maquinaria, utilidad del contratista y carga tributaria contemplada en el AIU, dicha iniciativa deberá contar con la voluntad política necesaria para adelantar los respectivos trámites ante los organismos legislativos correspondientes, para lo cual se cuenta con experiencias recientes en países de la región.

7.3.1 Exención de los impuestos del AIU

Dentro del porcentaje de costos indirectos del proyecto, en el componente de administración se incluyen los impuestos correspondientes para este tipo de proyectos, porcentaje que asciende al 10,9% de los costos directos del proyecto, es decir 1,3 billones COP, valor que se reduciría directamente del costo del proyecto si se logra una exoneración de impuestos.

7.3.2 Exención del IVA

La exoneración del IVA se aborda en dos componentes: uno exoneración del IVA sobre los suministros importados y dos, exoneración sobre suministros nacionales.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Para el análisis se tomó la discriminación de los costos por divisas obtenida de la información suministrada por CL1, se resalta que no se cuenta con todos los costos detallados por divisas, de los cuales el material rodante y superestructura tienen un gran porcentaje de suministros importados.

Los suministros importados tienen un peso importante en los costos del proyecto, se destacan los siguientes insumos: material rodante, perfiles de acero para el carril, máquinas TBM, maquinaria pesada para construcción, equipos para los sistemas de control y comunicación, entre otros.

Por otra parte, de incluirse en la legislación como se ha establecido en países vecinos, los suministros nacionales también se han beneficiado de la exoneración de IVA, lo que representaría otra disminución importante en los costos. Igualmente, dentro de estos conceptos se incluye la exención del IVA sobre la utilidad del contratista.

En la siguiente tabla se presenta el impacto sobre los ítems representativos del presupuesto:

Concepto	IVA (M COP)	IVA (M USD)	% respecto a costos directos sin AIU	% reducción respecto a costos total
Componente importado				
TBM	26.605	13,30		
Superestructura	5.686	2,84		
Material rodante	104.166	52,08		
Sistemas control y comunicación	84.170	42,09		
Línea	48.349	24,17		
Estaciones	14.536	7,27		
Talleres y cocheras	4.690	2,35		
Subtotal	288.202	144,10	2,7%	1,9%
Componentes nacionales				
Concreto	175.626	87,81		
Acero de refuerzo	113.299	56,65		
Cemento para Jet Grouting	50.204	25,10		
Subtotal	339,129	169,56	3,1%	2,2%
IVA sobre utilidad contrato	51.775	25,89	0,5%	0,3%
Total	679,106	239,55	6,3%	4,4%

En total por exoneración de IVA para suministros importados, suministros nacionales (considerando solo los ítems representativos como concreto y acero) y utilidad del contratista constructor, se puede obtener un valor del orden de 679 mil millones COP, equivalentes al 4.4% del presupuesto total del proyecto.

7.4 Análisis de oportunidades en la adquisición de equipos e instalaciones

A continuación se presenta un análisis de las oportunidades que ofrece la exploración del mercado internacional en la adquisición de equipos e instalaciones, especialmente, del material rodante.

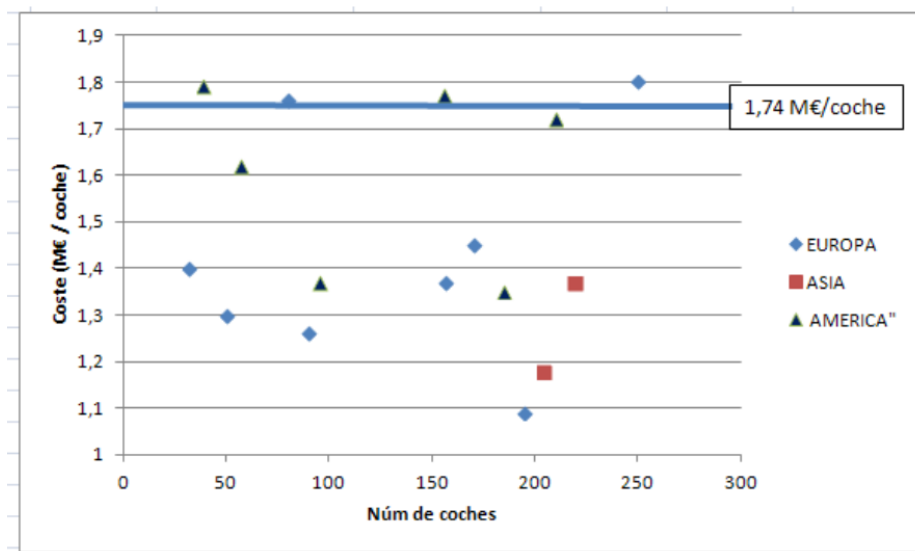
ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

MTR-1 - Analizar el mercado asiático para la adquisición del material rodante

En el diseño básico avanzado se realizó un estudio específico para determinar la inversión en material rodante. La metodología empleada parte de una comparación de precios obtenidos a partir de datos aparecidos en publicaciones especializadas del sector. En el estudio aparece un gráfico muy representativo de la dispersión de precios en el material rodante para ferrocarriles metropolitanos, según el origen de los fabricantes y el equipamiento y características de los vehículos.

La idea MTR-1 propone analizar más en detalle el mercado de material rodante, dedicando especial atención a los proveedores asiáticos, los cuales han alcanzado buenas cuotas de eficiencia con precios muy competitivos.

A continuación se reproduce el gráfico citado antes de analizar más profundamente el contenido de la propuesta.



Fuente: Diseño Básico Avanzado CL1, producto 25, pag 9.

El estudio determina un precio medio por coche de 1,74 M€, por el hecho de ser éste el precio medio de las flotas de trenes equipadas con CBTC en Europa. Sin embargo, los precios del mercado asiático alcanzan como máximo 1,4 M€, aun cuando gran cantidad de ferrocarriles metropolitanos asiáticos ya emplean el CBTC como sistema habitual de seguridad en la circulación, siendo destacables los ejemplos de Singapur, Hong Kong y diversas ciudades de China. La diferencia de precio supone un 17,64 % de ahorro. Por esta razón, la idea MTR-1 propone agotar las posibilidades del mercado asiático de material rodante antes de decidir la adquisición de trenes al precio indicado en el diseño básico avanzado.

Se ha tenido en cuenta el sobrecoste que puede generar el transporte hasta Bogotá desde los puertos del océano pacífico, valorado en 100.000 €/coche, lo que deja el ahorro posible en un 14,5 % o 869 M COP/coche. Para una flota inicial de 47 trenes de 6 coches, el ahorro en CAPEX puede alcanzar, caso de confirmarse estos precios de adquisición, la cifra de 245.058 M COP. Respecto al total de CAPEX, el material rodante supone el 10,15 % por lo que la medida supondría una reducción del 1,48 % en el CAPEX total.

Para este planteamiento resulta imprescindible definir adecuadamente los requisitos de calidad y RAMS en las especificaciones técnicas y en las cláusulas contractuales a fin de evitar malas experiencias posteriores. Sin embargo, los fabricantes asiáticos ya disponen de un grado de madurez avanzado en sus productos.

La propuesta MTR-1 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Idea MTR-1	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Se reduce el CAPEX al reducir el coste de adquisición de los trenes, pasando de 4.584 MCOP/coche a 3.715 MCOP/coche</p> <p>Se han suministrado trenes de características muy similares a 1,41 M€ por coche. El coste de la flota (66 trenes) sería de 588 M€, lo cual supone una reducción de 99,36 M€ (14,52 %) frente al coste estimado (687,82 M€)</p> <p>Ahorro estimado en la inversión = 869 MCOP/coche.</p>	<p>Necesidad de asegurar los requisitos de calidad, garantía y RAMS de acuerdo a los estándares del mercado asiático.</p>

A pesar de lo mencionado, también es de justicia afirmar que se han producido casos en Latinoamérica donde concursos de material rodante a los que acudían proveedores asiáticos y europeos han sido adjudicados a empresas europeas por menor precio total, se conoce por lo menos un caso de una empresa española. Por lo tanto, el esfuerzo debe realizarse en la fase de contactos con los proveedores y en el ajuste de las especificaciones finales de detalle del producto, tras un riguroso análisis de las prestaciones y solicitudes finalmente definidas para el material.

En resumen, se propone dedicar recursos a un estudio minucioso de los proveedores de material rodante, con especial atención al mercado asiático, ya que los ahorros obtenidos pueden ser muy notables, de hasta un 1,48% del CAPEX total.

8 PROPUESTAS RELATIVAS AL MODELO DE IMPLEMENTACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LA PLMB

Por último, se incluyen una serie de recomendaciones para tener en consideración en los términos de referencia, según sea el sistema finalmente adoptado de licitación y adjudicación de la PLMB y sus modelos de financiación y de explotación. Algunas ideas serán potenciadas de manera diferente en función de dichos modelos, por lo que su consideración podrá ser desigual.

Los resultados de la Ingeniería de Valor deben complementarse con las hipótesis de estructuración de la puesta en servicio de la PLMB. Así:

- Muchos de los ahorros en CAPEX y OPEX estimados en la Ingeniería de Valor pueden venir corregidos en más o en menos, dependiendo del **sistema de implementación** de la actuación.
- Según se ejecute como Obra Pública, PPP, sistema concesional, en las diversas modalidades, los diferentes **riesgos** se decantarán hacia la Administración, o hacia el Concesionario/Operador (público o privado) de la Línea. Esto debe quedar bien definido en la Licitación.
- Un **Ente Gestor** (*Project Manager*), público o privado, es fundamental para aglutinar esfuerzos y reducir riesgos en las interfaces durante el proyecto y durante la ejecución de las obras.
- Un **Ente Regulador** debe velar por el fiel cumplimiento del Contrato durante la explotación de la línea, verificando que el servicio prestado se corresponde con el Nivel de Servicio especificado en los Pliegos de la Licitación.
- También influirá en el resultado la necesaria **integración tarifaria** con el resto de modos del Distrito Capital.
- Finalmente, la **complicidad** de todas las Administraciones, *stakeholders* y empresas privadas del país (incluso la participación ciudadana) es necesaria para obtener el máximo ahorro o, al menos, la mejor optimización de la solución final.

Se presenta a continuación el desarrollo de alguna de las ideas expuestas en el *workshop*, relativa a esta cuestión.

MTR-2- Contratar los trenes por *renting* con mantenimiento en lugar de adquirir.

La idea MTR-2 consiste en que en lugar de adquirir los trenes, éstos se alquilan mediante un contrato de *renting*, por una cuota anual con mantenimiento incluido.

Se estima un coste de *renting* anual de 500.000 €/tren-año, a partir de experiencias reales como la de TMB en Barcelona, para la flota de la Línea 9. Para una flota de 47 trenes (según CL1, año 2021) el montante alcanza 23,50 M€. A 30 años supondrán 705,00 M€. Según CL1 el coste de mantenimiento anual a prever, en caso de adquisición del parque, es de 3,28 M€.

El coste de adquisición (490 M€ por 47 trenes) más 30 años de mantenimiento a 3,28 M€/año, resulta en 588,4 M€. El sobrepago en *renting* es de 117 M€ en 30 años (3,9 M€/año). A cambio el material rodante se ha obtenido con un desembolso inicial menor y al tener el mantenimiento incluido durante 30 años, se ha transferido este riesgo al proveedor, al tiempo que se ha facilitado su implantación industrial en Colombia así como la transferencia de su conocimiento.

La propuesta MTR-2 presenta las ventajas e inconvenientes expuestas en la siguiente tabla.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

Idea MTR-2	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Se reduce la provisión de capital necesaria para la adquisición de la flota de material rodante</p> <p>Disposición de capital en 2021= De 1.291.150 MCOP a 61.922 MCOP.</p>	<p>El coste total de la flota para 2021 se incrementa en 10,27 MillCOP/año, en un escenario de renting a 30 años.</p>

Tomando un tipo de remuneración corriente de los depósitos en Colombia, los intereses producidos por el capital proveerían una dotación suficiente para hacer frente al 79,5 % de los pagos anuales: $(490 - 23,5) * 4\% = 18,66$ M€/año (79,4 % de 23,5 M€). Sin embargo, creemos que uno de los “drivers” cruciales de la decisión es el hecho de transferir el riesgo del mantenimiento a la empresa de leasing, tema complejo dada la poca madurez del mercado latinoamericano, aunque muy bien pudiera ser una oportunidad “prime” para apoyar el desarrollo de este tipo de negocio, que ya ha empezado a florecer en el mercado brasileño.

En resumen, se propone analizar en conjunto con entidades interesadas en establecerse en el mercado latinoamericano de alquiler a largo plazo de material ferroviario, la viabilidad de provisionar la flota de material rodante de la PLMB mediante un contrato de *rénting*. Esta fórmula reduce extraordinariamente el CAPEX inicial, pero incrementa el OPEX en un plazo, por ejemplo, de 30 años de vida del material. Sin embargo, transfiere el riesgo en el mantenimiento, un aspecto crucial al no disponer en el país de técnicos cualificados de mantenimiento ferroviario y ofrece una oportunidad estratégica para el desarrollo de un negocio de futuro.

PTC-2 .- Subcontratación de secciones del taller a proveedores de equipos del material rodante.

Tal y como se ha visto en la idea PTC-1 es posible la construcción de los talleres y cocheras por fases ya que su utilización será progresiva en los primeros años de operación. Por esa misma razón las secciones del taller de mantenimiento mayor pueden ser cedidas a los proveedores de equipos de los trenes para que las equipen y operen por contrato de mantenimiento.

En combinación con la alternativa PTC1, si la industria auxiliar no dispone de tecnología para atender el mantenimiento de 2º nivel (y parte del de 3º nivel) se puede invitar a los proveedores de equipos del material rodante para que organicen, equipen y doten de personal formado las secciones del taller de mantenimiento mayor.

Se formalizarían contratos de mantenimiento a largo plazo con los proveedores instalados en el taller.

La propuesta PT-2 presenta las siguientes ventajas e inconvenientes:

Idea PTC-2	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Se reduce la inversión necesaria (CAPEX) hasta un 5%</p> <p>Se integra al proveedor en los procesos de calidad y compromiso</p> <p>Se controla mejor el coste de los proveedores y mantenedores de equipos.</p> <p>Ahorro estimado en la inversión = 18.308 MCOP (7 MEUR).</p>	<p>Necesidad de un régimen interior mejor definido para la convivencia en un mismo espacio de diversas empresas</p> <p>Necesidad de definir muy bien las relaciones contractuales y el uso de espacios y equipos de la propiedad.</p>

9 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES FINALES

9.1 Recomendaciones finales

A parte de las recomendaciones presentadas en apartados anteriores, las cuales han sido objeto de determinación del aumento de valor sobre el Proyecto de CL1, se añaden una serie de recomendaciones o sugerencias (algunas son “insistencias”) sobre otros aspectos de la PLMB, no siempre cuantificable desde el punto de vista de IdV, pero que ayudará a la implementación de las recomendaciones de ideas agregadas presentadas en este Informe. En cualquier caso, serán útiles para una óptima implementación de la PLMB.

- Equilibrio CAPEX-OPEX. Se insiste en lo indicado anteriormente: toda inversión que se realice sólo en aras a reducir el OPEX, dicha inversión debe limitarse a un importe máximo de 100 veces el ahorro del OPEX inicial que se espera obtener por realizar tal inversión. Y viceversa, toda propuesta que suponga un ahorro del CAPEX, sólo resulta económica si es este ahorro es superior a 100 veces el aumento del OPEX inicial que puede provocar dicha propuesta.
- No forzar el cumplimiento de las funcionalidades subordinadas a su estricto y obsesivo cumplimiento, si su transgresión (imperceptible/asumible por el operador o por el usuario) permite ahorros importantes. Por ejemplo: para producir un ahorro de una U.T. puede ser suficiente aumentar el intervalo unos pocos segundos; pero habría que ver cuánto tiempo perdura este ahorro, antes de que la demanda obligue a aumentar la capacidad de transporte, porque a lo mejor no vale la pena hacer este esfuerzo.
- Es recomendable evitar dimensionar la totalidad de la línea para la máxima demanda en una estación (ocupación de andenes → ancho de andenes) o en una interestación (pax transportados → nº U.T.). Tratar de optimizar en 2 aspectos:
 - Dimensiones de andenes, pasadizos, escaleras, etc, manteniendo NS y seguridad (NFPA-130) → 2-3 tipologías de ancho de andenes POR DEMANDA, en lugar de POR ESPACIO DISPONIBLE EN EL EXTERIOR, como está planteado en el DBA (contrario a la propia funcionalidad principal del Sistema, que es atender la demanda)
 - Que los trenes no vayan tan vacíos → adaptar la oferta a la demanda → carruseles cortos
- Poner en valor posibles soluciones a priori en desventaja, por supuestos impactos colaterales, no necesariamente negativos, si con ello se produce un ahorro importante de recursos (costo, plazo y riesgos). Se puede hacer adoptando:
 - Medidas compensatorias
 - Medidas adoptadas desde su origen
- Se insiste en la necesidad de acomodar en lo posible la ubicación del patio de Talleres y Cochera a las proximidades de la Línea, puesto que el diseño actual es antieconómico en CAPEX y en OPEX:
 - En un predio más cercano al inicio Oeste de la Línea
 - Disponer de forma repartida a lo largo de la línea, pequeños depósitos de trenes para ser apartados en horas valle o estacionados por la noche. Por ejemplo, aprovechando el espacio disponible tras la obra en el recinto del pozo de ataque del parque Tercer Milenio.
 - Analizar la oportunidad de disponer de un predio junto a la línea, en el que sea posible construir el patio a un nivel soterrado o semisoterrado (a modo de aparcamiento subterráneo), con posibilidad de aprovechamiento edificatorio en superficie. Generaría una posibilidad de financiamiento de esta parte de la obra.
 - Ya se ha comentado que en una ejecución por fases, el patio debe estar incluido en la primera fase y, por eficiencia, si esta primera fase corresponde al tramo Norte de la línea, con mayor demanda, el patio debería situarse en esa zona de la ciudad. Analizar, con mayor motivo, la posibilidad de localizar un predio en el que sea factible la oportunidad edificatoria mencionada anteriormente.

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR PARA LA PLMB - ENTREGABLE No. 4

9.2 Resumen del Estudio de Ingeniería de Valor

El presente Estudio de Ingeniería de Valor ha tratado desde todos los aspectos del proyecto de la PLMB, encontrar diversas oportunidades para reducir el CAPEX y o el OPEX con apenas, si no nula, reducción de las prestaciones iniciales.

Se han elaborado hasta **49 ideas independientes**, las cuales se han tratado de diferente manera:

- a) Un primer grupo de 25 ideas se han agregado en **9 propuestas**, las cuales se pueden agregar entre ellas, dando lugar a ahorros importantes tanto en CAPEX como en OPEX, manteniendo prácticamente las mismas prestaciones.

Es posible obtener una reducción máxima de **1.853.476 MCOP** (un **12,29%** de la inversión prevista por el Diseño Básico Avanzado de CL1). Los ahorros más importantes proceden de optimizaciones de obra civil, especialmente de las estaciones, aunque también de los túneles.

También es importante el ahorro del OPEX en algunas de las recomendaciones, especialmente debido a las propuestas referidas a material rodante y a sistemas ferroviarios.

En los Apéndices de este Informe Final se incluye el detalle de los ahorros y de la valoración de las Propuestas de ideas agregadas.

PROPUESTAS		IDEAS AGREGADAS					CAPEX TOTAL 15.085.820		OPEX (2021)	CAPEX + 100-OPEX
1	ES Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15			-393.123	-2,61%	-2.244	-617.473
2	LV Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6		-393.366	-2,61%	-4.487	-842.066
3	GA Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4				-271.182	-1,80%	-14.860	-1.757.182
4	PT Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1				-112.444	-0,75%	-21.950	-2.307.444
5	TP Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12				-433.609	-2,87%	0	-433.609
6	TT Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13			-99.676	-0,66%	0	-99.676
7	SF Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	-89.620	-0,59%	-18.250	-1.914.620
8	SE Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1					-60.456	-0,40%	0	-60.456
9	IA Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3			Indeterm.	0,00%	-1.400	-140.000
							-1.853.476	-12,29%	-63.191	-8.172.526

- b) Otro grupo de ideas se han creado para buscar oportunidades de reducción del capital inicial necesario para la puesta en marcha de la PLMB. Obedecen a aspectos puntuales (obras diferidas) y a aspectos globales (construcción y puesta en servicio por tramos o fases).
- c) Se ha dedicado también especial atención a algunas ideas que, si bien han sido valoradas económicamente, no se ha creído prudente incluirlas en el primer grupo, de propuestas de ideas agregadas, puesto que pueden estar sujetas a las circunstancias del entorno social, político y económico del país, pero también mundial.
- d) Otras ideas se enfocaron según el modelo de estructuración y de explotación. Por estar condicionados a estos aspectos, tampoco se ha creído oportuno incluir en el grupo de propuestas de ideas agregadas.

Finalmente, se insiste en el carácter **NO VINCULANTE** de ninguna de las ideas presentadas, dado que los aspectos menos cualitativos están condicionados a los decisores. Sin embargo, el presente Estudio ha tratado de valorar de forma relativa tales aspectos, y facilitar la priorización en la adopción de las propuestas, de acuerdo al incremento (o reducción) del valor derivado de adoptar tales propuestas.



ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR DEL PROYECTO DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ
RESUMEN DE VARIACIÓN DE COSTOS CAPEX Y OPEX DE LAS PROPUESTAS

PROPUESTAS							VARIACION DE COSTOS (MCOP)					INCREMENTO DE VALOR			
							CAPEX		OPEX (2021)		SUMA HOMOGÉNEA	% resp. DBA	ORDEN		
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15			-393.123	-11,50%	-2.244	-5,00%	-617.473	-7,81%	14,3%	7
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6		-393.366	-18,04%	-4.487	-65,67%	-842.066	-29,40%	22,3%	5
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4				-271.182	-7,97%	-14.860	-37,74%	-1.757.182	-23,94%	13,4%	8
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1				-112.444	-6,90%	-21.950	-46,78%	-2.307.444	-36,50%	17,1%	6
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12				-433.609	-40,31%	0	0,00%	-433.609	-40,31%	80,2%	3
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13			-99.676	-10,00%	0	0,00%	-99.676	-10,00%	12,9%	9
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	-89.620	-66,82%	-18.250	N.A.	-1.914.620	N.A.	∞	1
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1					-60.456	-44,21%	0	0,00%	-60.456	-44,21%	44,4%	4
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3			Indeterm.	0,00%	-1.400	∞	-140.000	N.A.	∞	2
								-1.853.476	-14,29%	-63.191	-45,79%	-8.172.526	-30,68%		

Porcentajes respecto de la parte de obra afectada

PROPUESTAS							COSTO CL1 (MCOP)			VALOR INICIAL	
							CAPEX	OPEX (2021)	SUMA HOMOGÉNEA	(CL1)	
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15			3.418.346	44.870	7.905.346	1
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6		2.180.907	6.833	2.864.207	1
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4				3.401.760	39.374	7.339.160	1
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1				1.630.010	46.920	6.322.010	1
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12				1.075.556	0	1.075.556	1
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13			996.764	0	996.764	1
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	134.120	N.A.	N.A.	1
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1					136.752	0	136.752	1
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3			0	0	0	1
								12.974.215	137.997	26.639.795	

APÉNDICE 1 - IDEAS DESARROLLADAS Y PRESENTADAS EN EL *WORKSHOP*

INGENIERÍA DE VALOR DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ
Matriz de Evaluación de Ideas

IDEA	TIPO	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN	FUNCIONES				COSTOS						EVA	UNIDAD EVAL.	AHORROS CAPEX (MCOP)		
			O.F.	N.S.	Q.	Total	CAPEX	OPEX	FINANC.	PLAZO	SOC.	RISK				Total	
01	VIA-1	OPTIMIZACIÓN DEL TRAZADO Ajuste de los elementos de trazado geométrico de las vías, mejorando la velocidad comercial y el tamaño de la flota, si es posible	0,33	0,00	0,00	0,33	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,58	LÍNEA	0,12	24.260
02	VÍA-2	EMPLEO DE CARRIL DE VÍA DE MENOR PESO/ML Utilización de carril de 54 kg/ml (UIC) o 56 kg/ml (AREMA)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,25	LÍNEA	0,05	6.986
11	MOP-1	INICIAR LA OPERACIÓN DE LA LÍNEA POR TRAMOS Abrir el servicio por tramos, pero construyendo los talleres y cocheras, así como el túnel de conexión (sin estaciones)	-0,39	-0,33	-0,09	-0,81	0,00	-0,74	-0,15	-0,16	0,09	0,22	-0,74	-0,08	LÍNEA	-0,02	-
12	MOP-2	ESTABLECER SERVICIOS PARCIALES MEDIANTE DOS CARRUSELES Crear un plan de oferta que contemple los servicios parciales que se analizan en el diseño básico avanzado	-0,20	0,00	0,00	-0,20	0,00	-0,16	-0,10	0,00	0,00	0,00	-0,26	0,06	LÍNEA	0,01	-
13	MOP-3	AUTOMATIZACIÓN DE ESTACIONES CON REDUCCIÓN DE PERSONAL Analizar la posibilidad de implantar un modelo automatizado de gestión de estaciones para no tener la obligatoriedad de un modelo presencial durante el servicio	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	-0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,15	0,20	LÍNEA	0,04	-
14	MOP-4	LIMITAR EL GRADO DE AUTOMATIZACIÓN A GoA3 Operación de los trenes con un grado de automatización GoA3 en lugar de GoA4, limitando la redundancia y disponibilidad de los sistemas	-0,06	0,00	0,00	-0,06	-1,75	0,13	0,00	0,00	0,00	0,03	-1,59	1,54	LÍNEA	0,45	189.000
21	OPX-1	INGRESOS ATÍPICOS POR ALQUILER DE ESPACIOS EN ESTACIONES Alquiler de espacios laterales de la mezzanina de las estaciones para la ubicación de locales comerciales	0,00	0,00	-0,02	-0,02	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,07	0,05	ESTACIONES CON MEZZANINA	0,01	-
22	OPX-2	INGRESOS ATÍPICOS POR PUBLICIDAD EN TRENES Y ESTACIONES Reservar espacios en trenes (interior y exterior) y estaciones (espacios interiores y edículos exteriores) para publicidad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,07	0,07	LÍNEA	0,01	-
23	OPX-3	ANÁLISIS DETALLADO DEL CONSUMO POR COCHE-KM Debe realizarse un estudio de los consumos, a fin de evitar sobredimensionamiento en los sistemas de tracción (CAPEX) y reducir la factura eléctrica (OPEX)	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,75	-0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,08	1,08	LÍNEA	0,27	57.011
24	OPX-4	TRANSFERIR EL PARQUE AUXILIAR A LAS EMPRESAS MANTENEDORAS Evitar a la Propiedad la adquisición del parque de material auxiliar, traspasándolo a las empresas mantenedoras que prestarán servicio en línea como contratistas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,05	LÍNEA	0,01	-
31	MTR-1	ANALIZAR MATERIAL RODANTE DE ORIGEN ASIÁTICO: COREA, JAPON O CHINA Analizar la posibilidad de que en lugar de trenes de origen europeo puedan ser suministrados por países asiáticos a menor precio	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,25	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	-2,25	2,25	MATERIAL RODANTE	0,82	245.058
32	MTR-2	MATERIAL RODANTE POR RÉNTING CON MANTENIMIENTO INCLUIDO EN LUGAR DE POR ADQUISICIÓN DIRECTA. En lugar de adquirir los trenes, éstos se obtienen mediante un contrato de rénting, por un alquiler anual con mantenimiento incluido.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,00	0,00	-0,06	-0,16	0,16	MATERIAL RODANTE	0,03	-
33	MTR-3	REDUCIR LA COMPOSICIÓN DE LOS TRENES IMPLANTANDO EL INTERVALO MÍNIMO DESDE EL PRINCIPIO DE LA OPERA Se adquiere o alquila directamente la flota horizonte de 66 trenes pero de 4 coches en lugar de 6 y se establece el intervalo de 90 segundos desde el principio	0,20	-0,25	0,00	-0,05	0,00	0,18	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,16	-0,21	MATERIAL RODANTE	-0,04	-
41	PTC-1	CONSTRUCCIÓN DE TALLERES Y COCHERAS EN FASES Diferir inversión en instalaciones de mantenimiento de 2º y 3er nivel, no necesarias al inicio de la explotación	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,16	0,00	0,02	-0,24	0,24	TALLERES Y COCHERAS	0,05	-
42	PTC-2	SUBCONTRATACIÓN DE ESPACIOS DEL TALLER A PROVEEDORES DE EQUIPOS DEL MATERIAL RODANTE Las secciones del taller de mantenimiento mayor son cedidas a los proveedores de equipos de los trenes para que las equipen y operen por contrato de mantenimiento	0,11	0,00	0,00	0,11	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,07	-0,32	0,43	TALLERES Y COCHERAS	0,09	18.308
43	PTC-3	REUBICACION DE TALLERES Y COCHERAS EN UN NUEVO PREDIO EN MOSQUERA Se trata de evitar (o minimizar) la construcción de un ramal técnico, manteniendo la misma funcionalidad de los talleres y cocheras	0,11	0,00	0,03	0,14	-0,75	-0,18	0,00	-0,08	-0,03	-0,02	-1,06	1,20	TALLERES Y COCHERAS	0,30	79.050

INGENIERÍA DE VALOR DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ
Matriz de Evaluación de Ideas

SENER		FUNCIONES				COSTOS							EVA	UNIDAD EVAL.	$\frac{AV}{(1+dr)^t/(1+dc)^t}$	AHORROS CAPEX (MCOP)		
IDEA	TIPO	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN		O.F.	N.S.	Q.	Total	CAPEX	OPEX	FINANC.	PLAZO	SOC.	RISK	Total				
51	TUN-1	SUSTITUCIÓN TÚNEL ENTRE PANTALLAS POR TÚNEL TBM ENTRE ESTACIONES GRAN COLOMBIA Y CALLE 85 Sustitución de túnel entre pantallas con tratamiento de jet-grouting en fondo de excavación por túnel TBM monotubo de 10 m de diámetro interior entre las estaciones Gran Colombia y Calle 85		0,00	-0,11	0,00	-0,11	-1,00	0,00	0,00	-0,08	-0,09	-0,08	-1,25	1,14	TÚNEL ENTRE PANTALLAS	0,30	90.750
52	TUN-2	OPTIMIZACIÓN DE TAPÓN DE FONDO (JET-GROUTING) EN TÚNEL ENTRE PANTALLAS Sustitución de un tapón continuo (3D) por codales de jet cada 4-5 m y utilización de pozos de alivio para evitar rotura de niveles cohesivos.		0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,08	0,00	0,00	-0,58	0,58	TÚNEL ENTRE PANTALLAS	0,13	27.500
53	TUN-3	OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE CLAVE EN TÚNELES TBM Optimización de tratamientos encaminados a la reducción de subsidencias sobre el túnel (afección a viales y servicios) y mitigación del riesgo de inestabilidad de frente.		0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00	0,00	-0,08	-0,03	0,00	-0,36	0,36	TÚNEL CON TBM	0,08	6.875
54	TUN-4	ELIMINACIÓN DE MURO FORRO EN TÚNELES ENTRE PANTALLAS Recogida de las posibles filtraciones, a través de junta,s con la canaleta correspondiente y en caso de filtraciones importantes se tratan las juntas con inyecciones		0,00	0,00	-0,03	-0,03	-0,50	0,03	0,00	-0,08	0,00	0,12	-0,44	0,41	TÚNEL ENTRE PANTALLAS	0,09	38.500
61	POZ-1	MODIFICACIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LOS POZOS DE SALIDA DE EMERGENCIA En tramos con TBM, la caja sobre eje del túnel con evacuación desde ambos hastiales se sustituye por galería conexión en mina + pozo con evacuación desde un solo hastial		0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	-0,03	0,00	-0,08	-0,06	0,00	-0,67	0,67	POZOS	0,15	45.650
62	POZ-2	MODIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL POZO DE ATAQUE Y ELIMINACIÓN DE ESCLUSAS EN EL MISMO Modif. de dimensiones del pozo de ataque, de 23m x 200m a 23m x 100m y sustituir las esclusas exteriores por un sellado interior. Optimización del tapón de jet-grouting		0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00	0,00	-0,08	-0,06	0,00	-0,39	0,39	POZO ATAQUE TERCER MIL	0,08	20.580
71	EST-1	SUPRESIÓN DE LA ESTACIÓN DE CASABLANCA Eliminar la estación Casablanca dada su proximidad con las estaciones adyacentes (Portal de las Américas a 779 m y Villavicencio a 685 m)		-0,15	-0,11	-0,03	-0,29	-1,50	-0,09	-0,03	-0,08	-0,06	-0,08	-1,84	1,55	LÍNEA	0,49	137.500
72	EST-2	SUPRESIÓN DE LA ESTACIÓN DE PALENQUE Eliminar la estación Palenque dada su proximidad con las estaciones adyacentes (Villavicencio a 873 m y Kennedy a 798 m)		-0,15	-0,11	-0,03	-0,29	-1,25	-0,09	-0,03	-0,08	-0,06	-0,08	-1,59	1,30	LÍNEA	0,38	121.500
73	EST-3	SUPRESIÓN DE LA ESTACIÓN DE PRIMERO DE MAYO Eliminar la estación Primero de Mayo dada su proximidad con las estaciones adyacentes (Bocayá a 813 m y Avenida 68 a 818 m)		-0,15	-0,11	-0,03	-0,29	-1,25	-0,09	-0,03	-0,08	-0,06	-0,08	-1,59	1,30	LÍNEA	0,38	128.700
74	EST-4	SUPRESIÓN DE LA ESTACIÓN DE NARIÑO Eliminar la estación Nariño dada su proximidad con las estaciones adyacentes (Santander a 791 m y Hortúa a 820 m)		-0,15	-0,11	-0,03	-0,29	-1,00	-0,09	-0,03	-0,08	-0,06	-0,08	-1,34	1,05	LÍNEA	0,29	104.500
75	EST-5	SUPRESIÓN DE LA ESTACIÓN DE LIMA Eliminar la estación Lima dada su proximidad con las estaciones adyacentes (San Victorino a 661 m y La Rebeca a 703 m)		-0,15	-0,22	-0,03	-0,40	-1,50	-0,09	-0,03	-0,08	-0,06	-0,08	-1,84	1,44	LÍNEA	0,45	145.750
76	EST-6	SUPRESIÓN DE LA ESTACIÓN DE MARLY Eliminar la estación de Marly dada su proximidad con las estaciones adyacentes (Gran Colombia a 711 m. y Santo Tomás a 708 m.)		-0,15	-0,11	-0,03	-0,29	-1,00	-0,09	-0,03	-0,08	-0,06	-0,08	-1,34	1,05	LÍNEA	0,29	88.000
77	EST-7	AJUSTE DE ANCHURA DE ANDENES Y DE LA CAJA DE LA ESTACIÓN Reducción del ancho de andén (anchura mínima libre de obstáculos) en estaciones tipos 1 y 2 (2x4,5 -> 2x3) y estaciones tipo 3 (8,8 -> 7,3)		0,00	-0,08	0,00	-0,08	-1,25	-0,09	-0,03	-0,04	-0,02	-0,04	-1,46	1,39	ESTACIONES	0,39	129.250
78	EST-8	OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE LOS ACCESOS DE ESTACIONES Modificación de, al menos, un 10% de los accesos previstos		-0,07	-0,09	0,00	-0,16	-0,75	-0,09	-0,03	-0,04	-0,02	-0,04	-0,96	0,80	ESTACIONES	0,20	55.000
79	EST-9	AJUSTE/EJECUCIÓN DIFERIDA DEL SEGUNDO VESTÍBULO DE ESTACIONES En estaciones con más de 6 pax/m2 en zonas paga y no paga: supresión o ejecución diferida del segundo vestíbulo o de la mitad de los accesos		-0,13	-0,19	0,00	-0,32	-1,00	-0,09	-0,03	-0,08	-0,03	-0,04	-1,27	0,95	ESTACIONES	0,25	93.500
80	EST-10	REDISTRIBUCIÓN DE CUARTOS TÉCNICOS Y AJUSTE DE LONGITUD DE ESTACIONES PROFUNDAS (TIPO TÚNEL) Reubicación de las salas técnicas del nivel de andén al nivel de mezzanina y/o vestíbulo, reduciendo en consecuencia un 10% aprox. la longitud de las estaciones tipo túnel		0,00	-0,08	0,00	-0,08	-1,00	-0,09	-0,03	-0,04	-0,02	-0,04	-1,21	1,14	ESTACIONES PROFUNDAS	0,30	107.250
81	EST-11	MODIFICACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE ESTACIONES EN LOS TRAMOS EN TÚNEL CON TBM Transformar estaciones tipo túnel en tipo pantalla		0,00	0,11	0,00	0,11	-0,75	-0,09	-0,03	-0,04	0,02	-0,04	-0,93	1,04	ESTACIONES PROFUNDAS	0,26	80.000

INGENIERÍA DE VALOR DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ

Matriz de Evaluación de Ideas

IDEA	TIPO	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN	FUNCIONES				COSTOS							EVA	UNIDAD EVAL.	$\frac{201}{1+07/12} \frac{202}{1+04/12}$ -1	AHORROS CAPEX (MCOPI)
			O.F.	N.S.	Q.	Total	CAPEX	OPEX	FINANC.	PLAZO	SOC.	RISK	Total				
82	EST-12	TRANSFORMACIÓN DE ESTACIONES TIPO 3 EN ESTACIONES TIPO 2 Transformación de estaciones de andén central (Gran Colombia y Marly) en estaciones de andenes laterales	0,00	0,25	0,00	0,25	-0,25	0,09	0,00	-0,08	-0,03	0,00	-0,27	0,52	ESTACIONES TIPO 3	0,11	11.000
83	EST-13	OPTIMIZACIÓN DEL TAPÓN DE FONDO (JET-GROUTING) EN ESTACIONES Sustitución de un tapón continuo (3D) por codales de jet cada 4-5 m y utilización de pozos de alivio para evitar rotura de niveles cohesivos.	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,08	-0,03	0,00	-0,61	0,61	ESTACIONES	0,14	44.000
84	EST-14	SUPRESIÓN DE ESCLUSAS EN TESTEROS ESTACIONES TIPO TÚNEL Sustitución de las esclusas en testeros por un sellado interior	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00	0,00	-0,08	-0,03	0,00	-0,36	0,36	ESTACIONES PROFUNDAS	0,08	9.625
85	EST-15	AJUSTE DEL DISEÑO DE LAS CONTRABÓVEDAS DE ESTACIONES PROFUNDAS (TIPO TÚNEL) Elevar las contrabóvedas 1 metro en las estaciones profundas tipo túnel	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,25	ESTACIONES PROFUNDAS	0,05	15.125
86	EST-16	DESPLAZAMIENTO DE LA ESTACIÓN HORTUÍA AL POZO DE ATAQUE DEL PARQUE TERCER MILENIO Reubicar la estación Hortúa en el emplazamiento del pozo de ataque	-0,13	-0,22	-0,03	-0,38	-0,50	0,00	-0,03	-0,08	-0,06	-0,16	-0,83	0,45	LÍNEA	0,11	35.750
91	CON-1	SUSTITUCIÓN DEL TÚNEL POR VIADUCTO ENTRE ESTACIONES PORTAL DE LAS AMÉRICAS Y ROSARIO Sustitución de la tipología de línea soterrada (túnel con TBM y estaciones entre pantallas) con solución aérea mediante viaducto continuo y estaciones elevadas	0,00	0,02	0,00	0,02	-2,50	-0,18	-0,10	-0,24	0,30	-0,27	-2,99	3,01	LÍNEA (PRIMER 1/3)	1,50	911.103
101	SEÑ-1	ELIMINAR ATP DE RESPALDO No instalar ATP de respaldo	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,50	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	-1,50	1,50	LÍNEA	0,43	46.000
102	SEÑ-2	ABRIR LA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN Especificaciones basadas en requisitos	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	-0,17	0,17	LÍNEA	0,04	20.000
111	COM-1	INTEGRACIÓN RED DE VOZ, DATOS Y VIDEO Pasar de 5 redes a 1 de muy alta disponibilidad.	0,22	0,00	0,00	0,22	-0,25	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	-0,25	0,47	LÍNEA	0,10	20.000
121	PSD-1	SISTEMA DE APERTURA SELECTIVA DE PUERTAS ANDEN-TREN Instalar pulsadores de apertura selectiva en PDA y tren sincronizadas. Sólo se abren las puertas necesarias. En HP y según la estación, se programa para que se abran todas.	0,22	0,00	0,00	0,22	0,00	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,09	0,31	LÍNEA	0,06	-
122	PSD-2	REDUCCIÓN HUECO PUERTAS-TREN La distancia tren-puertas (gap) depende del gálibo dinámico en estación (y por tanto v max en estación)	0,11	0,33	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,03	0,47	LÍNEA	0,09	-
123	PSD-3	INCORPORAR PANTALLAS MIXTAS INFO/PUBLICIDAD EN PUERTAS DE ANDÉN Pantallas led publicitarias integradas en fachada de puertas de andén	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	-0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,23	LÍNEA	0,05	-
131	PCO-1	AUMENTO NIVEL SIL EN SISTEMAS TELEMANDO Y TELECONTROL Info fiable acerca del estado de tensión de la línea o de la ubicación de trenes optimizaría y simplificaría las labores de mantenimiento	0,11	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,04	-0,04	0,15	LÍNEA	0,03	-
141	ENE-1	REESTUDIAR LA DEMANDA ENERGÉTICA El dimensionamiento energético de la PLMB parece elevado	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,75	-0,22	-0,03	0,00	0,00	0,00	-1,00	1,00	LÍNEA	0,25	55.000
142	ENE-2	DIMENSIONAMIENTO DE RECEPTORAS POR FASES Dimensionar la(s) receptora(s) para la fase inicial de explotación (2021), para después ser adaptadas para la explotación del 2050	-0,22	0,00	0,00	-0,22	-0,75	-0,22	-0,03	0,00	-0,01	0,00	-1,00	0,78	LÍNEA	0,20	55.000
TOTAL																3.263.081	

APÉNDICE 2 - ACTA DE LAS SESIONES DE PRESENTACIÓN DEL *WORKSHOP*

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

Tema	Presentación por parte de SENER, consultor de Ingeniería de valor contratado por FDN, las ideas o alternativas estudiadas para optimizar los costos del proyecto "Primera Línea del Metro de Bogotá"			Acta No.	04
Fecha	26 y 27 de marzo de 2015	Hora Inicio	07:30	Hora Fin	17:00

ASISTENTES

1. Consultoría SENER Expertos:

Jose Ramón Fernández Roure. Ing. CCyP, Director Estudio Ingeniería de Valor
Aguinaldo Azevedo: Ing. Civil, facilitador del Taller
Guillermo Dierssen Sotos: Dr. Ingeniero CCyP
Ricard Solá Casanovas: Ing. en Telecomunicaciones
Joan Carles Enguix: Ing. T. Industrial
Zoreth Parra, Ingeniero Civil

2. Directivos del equipo Consultor CL1

3. Interventoría del equipo Consultor CL1 – Ayesa

4. Representantes del Banco Mundial

5. Representantes del Banco Interamericano de Desarrollo

6. Representantes de la Corporación Andina de Fomento

7. Funcionarios y Asesores del Instituto de Desarrollo Urbano

8. Representantes del Departamento Nacional de Planeación

9. Representantes de la Financiera de Desarrollo Nacional

10. Representantes de la Empresa de Energía de Bogotá

11. Representantes de la Secretaría Distrital de Planeación

12. Representantes de la Secretaría Distrital de Movilidad

13. Representantes de la Secretaría de Hacienda del Distrito

AGENDA / TEMARIO

1.	Concepción General de la línea, trazado, vía y ejecución por fases
2.	Estaciones
3.	Túneles y Pozos
4.	Sistemas
5.	Material móvil, operación y mantenimiento ferroviario, patio talleres y cochera
6.	Costos de inversión
7.	Costos de explotación (O&M)
8.	Resumen de ideas y Propuesta "mínima"
9.	Mesas redondas y recomendaciones

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

DESARROLLO

1. Concepción General de la Línea, trazado, vía y ejecución por fases

Tras unas breves explicaciones sobre la IdV y su objeto, SENER presenta diferentes ideas:

- a. Aumento velocidad comercial en 1 Km/h, con este ejercicio se lograría ahorro en la compra inicial de una unidad de tren de 6 coches, si bien con mayor consumo de energía para el resto de trenes circulantes y ligero impacto en el modelo de operación y mantenimiento.
- b. Cambiar peso del carril o riel de 60 Kg/ml a 54 Kg/ml, pues la especificación sugerida en los diseños aplica para trenes de carga o de alta velocidad.
- c. Ejecución por fases, SENER presentó opciones para terminar la primera fase en las estaciones de Lourdes, Av. Chile o Calle 100, requiriendo menos CAPEX aunque reducimos oferta de Transporte; hasta Lourdes ahorro del 26%, Av Chile del 24% y hasta calle 100 del 13% del ppto total de CAPEX, elegir alguna de estas alternativas implicaría ajustar las modelaciones de demanda, tarifa y OPEX.
- d. Reubicar taller de primer nivel al Norte, si se ejecuta la línea por fases, porque en esa zona está la máxima demanda y, por lo tanto, es por donde resulta más eficiente iniciar la PLMB, aunque representantes de IDU indican la escasa disponibilidad de predios y el elevado costo en ese sector.

2. Estaciones (Ahorro máximo 12,48%, 1.346 billones)

- a. Considerar la eventual eliminación de hasta 6 estaciones Casablanca, Palenque, 1ero de Mayo, Nariño, Lima y Marly. Esta alternativa requiere revisar los modelos de demanda-tarifa, necesidad de ubicar en su lugar nuevos pozos de salida de emergencia, construcción sustitutiva de aprox. 208 mts de túnel, por cada estación que se suprime, no se ha contemplado reubicar las estaciones colaterales. Tenemos también impactos (positivos) importantes en adquisición predial, menos movimiento de redes Esp y Tic, mejores cronogramas de construcción de todo el proyecto y menos afectación a la vialidad, tráfico y edificaciones próximas a la línea del metro.

Adicionalmente se recomienda revisar en detalle la supresión de la estación 1ero de Mayo, dado que recoge un sector importante de demanda y desarrollo urbano en este sector comprendido entre Av Boyacá y Av 68. Por otro lado, la estación de Lima está siendo considerada por la Agencia Nacional de Infraestructura, para que sea el destino final del tren de occidente.

- b. Reducción andenes, SENER considera que con este trabajo para disminuir andenes de 4,5 metros a 3 metros conllevaría una degradación imperceptible del nivel de servicio, pero un importante ahorro del CAPEX (incluso algo de OPEX). En este punto los representantes de IDU, EEB y Metro de Medellín recomiendan no revisar o cambiar este parámetro.
- c. Reducción cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones tipo túnel, SENER confirma lo manifestado por el consorcio CL1 que se puede lograr disminuciones de caja de hasta 24 mts (10%), implica ligero aumento de costos de cableado de sistemas y de su mantenimiento, pero siempre muy inferiores a los ahorros conseguidos con la reducción de la caja de las estaciones.

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

d. Modificación de profundidad de estaciones en tramos TBM, pasar de -19,2 mts a -15,7 mts, este ejercicio tiene efecto positivo en coste de estaciones, pero mayor riesgo de construcción del túnel, que debe compensarse con ciertas medidas de mejora del terreno en el entorno del entronque de éste con las estaciones. Se elimina pre-vestíbulo, mejorando el nivel de servicio del usuario, al reducir la distancia y tiempo de acceso a los andenes.

e. Optimización del tapón de fondo de Jet-Grouting en estaciones, los participantes en el taller recomiendan dejar este tipo de ajustes al Constructor, según SENER en algunos casos no requeriría tapón, en otros pasar de tapones de 5-10 mts a unos de 3 mts, se debe entender que esta labor incrementa el riesgo por impermeabilización. CL1 observa que no recomienda.

f. Desplazamiento de estación Hortúa al pozo central de ataque en el parque Tercer Milenio. Este ejercicio requiere hacer salida de emergencia en el lugar actual ocupado por la estación, tiene fuertes impacto en la demanda de este sector de alto tráfico de la Ciudad, el consorcio CL1 recomienda quitar Nariño y no mover Hortúa por intermodalidad con Transmilenio.

g. Transformación de andenes de andén central en estaciones con andenes laterales (Gran Colombia y Marly) SENER informa que esta modificación mejora confort. El Consorcio CL1 ve bien retirar Marly, para seguir con el proceso constructivo de tuneladora hasta calle 85 y sugiere revisar este tema en Gran Colombia.

h. Optimización del diseño y cantidad de los accesos de estaciones, esta revisión impacta sobre la accesibilidad de parte de la demanda potencial al Metro (que experimenta un ligero aumento del tiempo de acceso al Sistema).

i. Ajuste/ejecución diferida del segundo vestíbulo en estaciones, tendremos efectos sobre la accesibilidad de parte de la demanda potencial (que experimenta un ligero aumento del tiempo de acceso). Debe ejecutarse en su lugar, salida de emergencia de estación.

j. Modificación de los corralitos en los testers en 17 estaciones, significa supresión de esclusas por proceso de sellado interior, aunque tenemos un mayor riesgo de falla, simplifica la construcción y los efectos colaterales (en superficie) de la obra.

k. Ajuste del diseño de la contrabóveda en 19 estaciones, reduciendo la profundidad de las mismas, el consorcio CL1 considera que este tema debería dejarse para la ingeniería de detalle del Constructor.

3. Túneles y pozos (Ahorro máximo 2,57%. \$277.060 millones)

a. Sustitución de túnel entre pantallas por túnel excavado con TBM entre las estaciones Gran Colombia y Calle 85 (2.755 mts), este ejercicio implica modificar vestíbulos, requiere modificar 6 estaciones pasar de -15,7 a -19,2 mts de profundidad, pasaríamos de 2 niveles a 3 niveles, (ahorro aprox. de \$156.750 millones de pesos), mejor impacto si se elimina estación Marly, menor plazo de construcción.

b. Optimización del tapón de fondo del túnel entre pantallas.

c. Optimización de los tratamientos de clave de túneles TBM, este ejercicio de diseño de detalle, se debería dejar al Constructor del Proyecto.

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

d. Eliminación del muro forro en tramos de túnel entre pantallas, 8 kmt de este muro de 20 cmt, por el nivel freático, mirar en detalle el nivel de permeabilidad del suelo en construcción.

e. Simplificación de la tipología estructural de los 12 pozos de salida de emergencia, sin menoscabo del cumplimiento con la norma NFPA-130 (distancia máxima entre pozos), de referencia para la seguridad de túneles ferroviarios.

f. Reducción de las dimensiones del pozo de ataque del Tercer Milenio, se sugiere pasar de un tamaño de 200 mts x 23 mts a pozo de 100 mts x 23 mts, sin pérdida de funcionalidad en la explotación de las dos tuneladoras, requiere demolición parcial de parqueadero existente,

g. Configuración de la línea del Metro para pasar a línea elevada (viaducto) el tramo subterráneo Portal Americas- Rosario (4 kmts), transformando estaciones subterráneas en aéreas. Supone ahorro superior al 8% de ejecución de obra y otro tanto en OPEX. Mejora funcionalidad y nivel de servicio (mejor accesibilidad).

El IDU, recuerda que en la fase de ingeniería conceptual (año 2008-2009) se revisaron 32 indicadores en 6 ejes para definir la mejor alternativa y el resultado fue el de una línea completamente subterránea en ese tramo, para contemplar una alternativa como esta, se debe analizar integralmente el impacto por lo menos con el mismo nivel de detalle, valorar el impacto ambiental, el urbano y esto teniendo en cuenta que una de las posibles fuentes de financiación que se está considerando es la gestión de suelo como la valorización o mayor edificabilidad en predios próximos a la línea y a las estaciones y es evidente que un metro elevado tiene otras implicaciones e impactos en el entorno urbano.

Metro de Medellín, por el contrario, no descarta poner en valor esta solución, por la propia experiencia positiva vivida en dicha ciudad.

4. Sistemas

a. Señalización, dejar solo CBTC y retirar ATP de respaldo. El Consorcio CL1 y Metro de Medellín consideran viable retirar el sistema el ATP.

b. Abrir especificación sistema de señalización, para favorecer mayor concurrencia.

c. Comunicaciones pasar las redes de voz y datos, la de video y la red de señalización, para un sola red INTEGRADA (ahorro de \$20.000). CL1 recomienda NO integrar las redes con la de SEÑALIZACION.

d. Sistema de apertura selectiva de puertas. Tenemos 1.296 puertas con 1.096.416 maniobras en el día. Se propone sistema de apertura selectiva. Mejora OPEX.

e. Incorporar pantallas mixtas para info / publicidad. Ingresos extra-tarifarios. Mejora OPEX.

f. Necesario optimización del estudio eléctrico, dado el alto consumo manifestado en el estudio de CL1, superior al esperado.

g. No necesario para únicamente la PLMB disponer 3 estaciones receptoras. SENER propone dos, o incluso inicialmente sólo una. Sólo eficiente disponer tres, si la red aumenta.

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

5. Material móvil, operación y mantenimiento ferroviario, patio talleres y cochera

MODELO OPERACIONAL

- a. Iniciar la operación de la línea por tramos, abrir la línea al servicio por tramos según la demanda, priorizando 1ero Mayo a Av. Chile, auxilio a saturación de Transmilenio, iniciarían 15 y no 27 estaciones, (14 kmts), aplazar inversión de \$ 440.000 millones de pesos.
- b. Establecer servicios parciales mediante dos (2) carruseles: un circuito Portal de las Américas-Calle 127 y otro 1ero Mayo (Av 68) a Calle 127, requiere ampliar estación de AV 68, se adecúa compra de material rodante a la demanda, aplaza inversión de \$ 278.640 , intervalo de 3 minuto a 6 minutos en últimas estaciones
- c. Automatización de estaciones con reducción de personal. Se propone reducción del 50% de la plantilla (300 personas), en agentes por estación, y personal de seguridad (10,47 agentes por estación), ahorro en OPEX de 20 MUSD.
- d. Limitar el grado de automatización a GoA3. Implica menos automatización, entonces más agentes, hoy tenemos GoA4 (UTO) Unatendet Train Operation, al pasar a GoA3 (Grade Of Automatization), ahorro estimado \$ 189.000 por las redundancias que se eliminan, incremento de OPEX pero se mejora atención a incidencias.

MATERIAL RODANTE

- a. Analizar el mercado asiático de material rodante, hay por lo menos 4 proveedores de coches asiáticos 15% mas baratos, respecto a los europeos, en total sería un ahorro de 1,48% del CAPEX, debemos asegurar requisitos de calidad y RAMS que permita su participación, ahorro por coche de 869 millones de pesos, multiplicar por 60.
- b. Contratos de *renting* con mantenimiento en lugar de adquirir, para la FDN a 30 años supondrá 705 M euros, es mas caro que comprarlos, el coste de mantenimiento anual es muy caro los intereses, para este tema requeriríamos \$ 61.000 y no \$ 1,29 billones, a largo plazo aumenta ligeramente, pero facilita el inicio.
- c. Operar desde inicio con intervalos de 90 segundos y no 150 segundos, para iniciar con composiciones de 4 coches. Disposición de capital en 2012 de \$ 1,29 billones a \$ 980.000, aunque se incrementa el OPEX.

PATIOS, TALLERES Y COCHERAS

- a. Construcción de talleres por fases, empezar con la zona de mantenimiento de 1er nivel (básica) y luego las fases de mantenimiento y operación pesado (2do y 3er nivel), pueden existir algunas dificultades de obras luego en operación.
- b. Subcontratación de secciones del taller a proveedores equipos de material rodante.
- c. Reubicar talleres, Mosquera??? Soacha??? Al Norte??? SENER insistió en que hay que hacer todo lo posible por situar más cerca de la línea el patio de talleres (al menos primer nivel) y cocheras, para reducir exceso de CAPEX y OPEX que se infiere del diseño actual, y que no proporciona valor alguno al proyecto. Hay que buscar las fórmulas administrativas y la complicidad política de las Administraciones implicadas para facilitar la búsqueda de predios más cercanos a la línea y gestionar de manera ágil las gestiones necesarias.

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

6. Costos de inversión

- a. A lo largo de todas las exposiciones anteriores se fueron comentando diversas oportunidades de reducción de costos de inversión, en diferentes capítulos del proyecto: obra civil, arquitectura, material rodante, sistemas, etc.
- b. Un Pareto muestra que la obra civil y especialmente las estaciones, representan un porcentaje altísimo del presupuesto total de la obra, indicando dónde se hallan las mayores oportunidades de ahorro de inversión.
- c. En cuanto a las unidades y suministros locales (movimiento de tierras, concretos, aceros) se constata que los precios unitarios del presupuesto de CL1 se encuentran ligeramente por debajo (5-10-15%) del precio del mercado local actual de Bogotá, posiblemente por considerar el efecto escala por el importante monto de la inversión.
- d. Respecto a los suministros de importación, ya se ha comentado en alguna exposición la posibilidad de explorar el mercado asiático, que puede reportar un importante ahorro en la adquisición de equipos, especialmente en lo referente a material rodante.
- e. Por último, destacar que el AIU aplicado por CL1 (25,5% en total), también está por debajo de lo que cabría esperar en este proyecto (entre el 27% y el 30%).
- f. Dado que estamos en un mercado de libre competencia no intervencionista, la manera que propone SENER para aportar IdV en este apartado de costes unitarios, pasa por modificar adecuadamente la legislación vigente que, por un lado liberalice el mercado internacional eliminando restricciones y aranceles y, por otro, dinamice y abra el mercado local reduciendo ciertos impuestos y gravámenes. En todo caso, hay que tratar de evitar la prepotencia de algunos "lobbies" (nacionales y extranjeros) y la ineficiencia, a veces, del exceso de burocracia administrativa.

7. Costos de explotación (O&M)

- a. Los costos de operación y mantenimiento dependen absolutamente del modelo operacional y del modelo de mantenimiento, respectivamente. Dichos modelos basan su desarrollo en el binomio automatización&personal necesario. Un modelo totalmente automatizado se contraponen a un modelo presencial necesario y de personal activo. Hay que sopesar también el CAPEX con el OPEX correspondientes, pero también los aspectos sociales que representan los puestos de trabajo generados por la explotación de la PLMB.
- b. Se vuelve a incidir en que el costo energético de tracción parece muy elevado y es necesario replantear el estudio correspondiente.
- c. Los costes unitarios de personal parecen adecuados a la realidad laboral de Bogotá.
- d. Los costes de personal según el modelo de CL1, representa el 48% de los costes de explotación totales, lo que parece muy elevado para una línea con grado GoA4 de automatización. Y más, considerando que el coste de energía parece algo elevado también.

CÓDIGO: FO-IDU-131	FORMATO: ACTA DE REUNIÓN	VERSIÓN: 4.0	
------------------------------	------------------------------------	------------------------	---

8. Resumen de ideas y Propuesta “mínima”

Para concluir la exposición de posibles ideas y oportunidades (hasta 48), SENER presentó una relación de posibles “ideas finalistas” (hasta 27), o Propuesta “mínima”, en las cuales no observa pérdida apreciable de funcionalidad ni aumento significativo de coste (OPEX, CÁPEX y otros), para suscitar el debate y la aportación de todos los asistentes.

9. Mesas redondas y recomendaciones

En las Mesas de discusión de los diferentes paneles se recomendó:

I) Revisar los efectos en OPEX y en el cronograma de construcción (si bien en las propuestas de IdV ya se hace mención explícita de ambos conceptos). SENER no se dispone todavía del cronograma de la obra.

II) Tener en cuenta posibles riesgos adicionales que se incluyan en el proyecto, como efectos colaterales no directamente relacionados con la funcionalidad principal de transporte. Si bien no está incluida en la IdV la definición y evaluación de criterios y pesos para la decisión, que deben adoptarlos los decisores del proyecto, en opinión de SENER, éste asesorará en todo aquello que técnicamente esté en sus alcances.

III) Dejar temas de ingeniería de detalle para Constructor.

IV) En cada escenario se deben revisar los impactos en el modelo demanda-tarifa (cualquier modificación funcional como eliminación o postergación de estaciones, segundos vestíbulos y accesos, así como cualquier hipótesis de ejecución y puesta en servicio por fases, debe implementarse en el modelo de demanda, tarea no incluida en la IdV).

V) Analizar posibilidad de exención de impuestos e impactos de las cargas impositivas.

VI) Realizar análisis integral del proyecto (CAPEX, OPEX, impacto divisas, oportunidad de la inversión, gastos financieros futuros...).

VII) Retroalimentar la matriz de riesgos de los escenarios que se generan, para que la Nación-Distrito puedan tomar las mejores decisiones.

VIII) Profundizar en la optimización de costos, en la valoración del AIU (en función del tipo de Contrato) y en los precios del mercado internacional.

IX) En la propuesta de eliminación de estaciones el criterio básico es la demanda baja en estas estaciones. Es de notar que la demanda de estas estaciones se va a incrementar con los desarrollos urbanos alrededor de estas zonas que van en progreso.

X) Por indicación expresa del Presidente de la FDN, de momento no se descarta ninguna de las ideas presentadas por SENER, al menos hasta conocer otros datos relacionados con la financiación del proyecto. En los próximos días se concretarán las ideas a desarrollar con mayor detalle por la IdV.

APÉNDICE 3 - FICHAS DE LAS PROPUESTAS DE LAS IDEAS AGREGADAS



**ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR DEL PROYECTO DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ
RESUMEN DE VARIACIÓN DE COSTOS CAPEX Y OPEX DE LAS PROPUESTAS**

PROPUESTAS							VARIACION DE COSTOS (MCOP)					INCREMENTO DE VALOR			
							CAPEX		OPEX (2021)		SUMA HOMOGÉNEA	% resp. DBA	ORDEN		
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15			-393.123	-11,50%	-2.244	-5,00%	-617.473	-7,81%	14,3%	7
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6		-393.366	-18,04%	-4.487	-65,67%	-842.066	-29,40%	22,3%	5
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4				-271.182	-7,97%	-14.860	-37,74%	-1.757.182	-23,94%	13,4%	8
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1				-112.444	-6,90%	-21.950	-46,78%	-2.307.444	-36,50%	17,1%	6
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12				-433.609	-40,31%	0	0,00%	-433.609	-40,31%	80,2%	3
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13			-99.676	-10,00%	0	0,00%	-99.676	-10,00%	12,9%	9
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	-89.620	-66,82%	-18.250	N.A.	-1.914.620	N.A.	∞	1
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1					-60.456	-44,21%	0	0,00%	-60.456	-44,21%	44,4%	4
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3			Indeterm.	0,00%	-1.400	∞	-140.000	N.A.	∞	2
								-1.853.476	-14,29%	-63.191	-45,79%	-8.172.526	-30,68%		

Porcentajes respecto de la parte de obra afectada

PROPUESTAS							COSTO CL1 (MCOP)			VALOR INICIAL	
							CAPEX	OPEX (2021)	SUMA HOMOGÉNEA	(CL1)	
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15			3.418.346	44.870	7.905.346	1
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6		2.180.907	6.833	2.864.207	1
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4				3.401.760	39.374	7.339.160	1
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1				1.630.010	46.920	6.322.010	1
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12				1.075.556	0	1.075.556	1
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13			996.764	0	996.764	1
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	134.120	N.A.	N.A.	1
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1					136.752	0	136.752	1
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3			0	0	0	1
								12.974.215	137.997	26.639.795	

PROPUESTA	1	ES
IDENTIFICACIÓN	Optimización del diseño de estaciones	
OBJETIVO	Reducir dimensiones generales de las estaciones	
IDEAS AGREGADAS	EST-7	EST-10 EST-15

DESCRIPCIÓN	Se reduce las dimensiones generales en longitud, anchura y profundidad de la caja de las estaciones. Se exceptúan 2 que desaparecen y la reducción de 5 de las restantes.
RECOMENDACIONES FUTURAS	Redistribución de los locales técnicos y ajustes de espacios en el vestíbulo (áreas públicas).
	Modelación del comportamiento de los usuarios en diferentes situaciones (HP-HV: normal, degradada, emergencia) de todas las estaciones. Evolución con la demanda.
	Recálculo de pantallas y forjados principales, por reducción de luces y dimensiones generales.

VENTAJAS	Se mantiene la funcionalidad de la Línea y un Nivel de Servicio (LoS) confortable para los usuarios de las estaciones.
	Se reducen las afecciones con el exterior (reposiciones de pavimentos y redes) y molestias durante las obras (ruido, polvo, desvíos peatonales y de tráfico, protecciones).
	Se reduce el plazo de ejecución de las estaciones, lo cual podría traducirse en una reducción del plazo de la obra si la construcción de éstas se halla en el camino crítico.
	Permite el arrastre de las TBM a lo largo de las estaciones sin necesidad de disponer una contrabóveda provisional.
	Ahorros sustanciales de CAPEX y OPEX.

INCONVENIENTES	Ligera reducción en el confort del usuario, especialmente en situación de operación degradada (hasta 2 niveles, pero aceptable).

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA		
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.
	Túnel	Restitución		
	Estaciones	20	20	20
	Taller y cocheras			
	Sistemas ferroviarios - PCO			
	Material rodante			
	Obras externas	20		

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	-0,45	SUMA ALGEBRAICA
		0,57
COSTO	-1,02	INCREMENTO VALOR
		0,14
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	Estaciones sobre las que se aplican las diferentes optimizaciones	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
		1. OPERACIÓN		0,00	0,45	0,00
	2. NIVEL SERV.	Máximo -2 niveles	-1,00	0,45	-0,45	Ligera reducción en el confort del usuario, especialmente en situación de operación degradada (hasta 2 niveles,
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-1,00	1,00	-0,45	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	- 393.123	-1,00	0,64	-0,64	Ahorro conjunto muy significativo
	2. OPEX	- 2.244	-0,50	0,26	-0,13	Ahorro discreto
	3. COLATERALES	Disminuye poco	-2,50	0,10	-0,25	Efecto diferencial
	TOTAL		-4,00	1,00	-1,02	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.
 - Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
 - Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

PROPUESTA	2	LV
IDENTIFICACIÓN	Optimización de la Línea y de la vía	
OBJETIVO	Eliminar estaciones de escaso valor y optimizar el trazado ferroviario, aumentando a su vez la velocidad comercial y, como consecuencia adicional, reducir la flota necesaria	
IDEAS AGREGADAS	VIA-1	VÍA-2 EST-1 EST-6

DESCRIPCIÓN	Sustitución de estaciones Casablanca y Marly por túnel y pozos. Ajuste de los elementos de trazado y sustitución del carril UIC-60 por UIC-54
RECOMENDACIONES FUTURAS	Optimizar el trazado y ubicación de aparatos, para, junto con la supresión de estaciones, poder desarrollar la máxima velocidad que permita las condiciones del tren y del trazado
	Estudios de demanda que supone la reordenación de viajes y tiempos por las estaciones suprimidas
	Ajustes del diseño de la operación ferroviaria y del programa de mantenimiento de los trenes
	Para verificar la oportunidad de esta propuesta, debe realizarse una simulación de marchas del carrusel y comprobar la reducción del tiempo de vuelta en 2 intervalos
	Comprobar la ventilación en túnel, y ajustar dimensionamiento de pozos y equipos de las estaciones colaterales, en su caso.

VENTAJAS	Alta reducción de costes CAPEX y OPEX, junto con todos los costos asociados (adquisición de predios, desvío de servicios afectados, reposiciones, etc).
	Mejora la velocidad comercial hasta en 2,5 km/h
	Reduce el tamaño de la flota (2 U.T. en 2021 y 3 U.T. en 2050, en línea)

INCONVENIENTES	Algunos parámetros de trazado "normales" se deben sustituir por parámetros "excepcionales", lo que produce una leve reducción del confort del pasajero en zonas muy puntuales
	Pérdida significativa de la función transporte y de otras funciones secundarias en las zonas donde se eliminan las dos estaciones
	Aumento significativo del tiempo de acceso de la población servida que sigue utilizando la PLMB en el entorno de las estaciones suprimidas
	Aumenta el número de km-tren de los restantes (aunque se mantiene el total-año), lo que aumenta la necesidad de realizar operaciones de mantenimiento más periódicas

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA		
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.
	Túnel	Línea	Línea	Línea
	Estaciones	2	2	2
	Taller y cocheras			
	Sistemas ferroviarios - PCO			
	Material rodante	2	2	2
	Obras externas	2		

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	-1,09	SUMA ALGEBRAICA
		0,72
COSTO	-1,80	INCREMENTO VALOR
		0,22
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	Estaciones no construidas, Línea y UTs no adquiridas	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. OPERACIÓN	-1,5% / 38 Km/h	0,00	0,45	0,00	Pérdida de demanda atendida: 1,56% // Aumento de velocidad comercial hasta 38 km/h
	2. NIVEL SERV.	+20" / -conf.	-1,30	0,45	-0,59	Incremento tiempo accesibilidad (20-30") // Pérdida confort en algún tramo del túnel
	3. SECUNDARIAS	Disminuye mucho	-5,00	0,10	-0,50	Pérdida de oportunidades, cohesión social y conectividad urbana
	TOTAL		-6,30	1,00	-1,09	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	-393.366	-1,00	0,64	-0,64	2 estaciones sustituidas por túnel y pozos SE y ahorros adicionales en 2 UTs y en carriles de vía
	2. OPEX	-4.487	-3,50	0,26	-0,91	Menores costos de operación y mantenimiento de estaciones (2/27)
	3. COLATERALES	Disminuye poco	-2,50	0,10	-0,25	Disminuyen afecciones temporales por no construir 2 estaciones (ruidos, restricciones...)
	TOTAL		-7,00	1,00	-1,80	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.
 - Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
 - Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

PROPUESTA	3	GA
IDENTIFICACIÓN	Optimización del grado de automatización operacional	
OBJETIVO	Modelo estaciones automatizado para reducir personal (OPEX) y reducir automatización de los trenes para reducir equipos redundantes (CAPEX)	
IDEAS AGREGADAS	MOP-3	MOP-4

DESCRIPCIÓN	Parte del personal previsto en estaciones, de baja cualificación, se destina al acompañamiento de trenes. Nivel automatización operación de trenes: GoA3 en lugar de GoA4.
RECOMENDACIONES FUTURAS	Seguimiento del comportamiento del usuario de la atención prestada.

VENTAJAS	Se utilizan exclusivamente los sistemas de la estación, no dependiendo de la presencia de agentes en la misma. Se mejora la gestión de incidencias al darse criterios centralizados en estaciones, y la atención inmediata a incidencias en los trenes al disponer de personal de acompañamiento. Se acostumbra al usuario a responsabilizarse de su acceso al Metro. Se reduce el CAPEX global. Se reduce el OPEX global.
----------	--

INCONVENIENTES	Mayor sensibilidad a fallos de los equipos o las telecomunicaciones. Mayor exigencia de mantenimiento. Menor oferta de puestos de trabajo. Equipos no utilizados al 100% de sus máximas prestaciones (puertas de andén...) Dependencia de la plantilla de asistentes a bordo.
----------------	---

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA		
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.
Túnel	Estaciones		Línea	
	Taller y cocheras		Línea	
	Sistemas ferroviarios - PCO	Línea	Línea	
	Material rodante	Línea	Línea	
	Obras externas			

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	-0,28	SUMA ALGEBRAICA
		0,56
COSTO	-0,84	INCREMENTO VALOR
		0,13
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	LÍNEA	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. OPERACIÓN	Disminuye	-0,625	0,45	-0,28	Menor disponibilidad de los sistemas y menores redundancias
	2. NIVEL SERV.		0,00	0,45	0,00	Se compensa
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-0,63	1,00	-0,28	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	-271.182	-0,50	0,64	-0,32	Reducción de costes de los sistemas y ahorros en redundancias
	2. OPEX	-14.860	-2,00	0,26	-0,52	Importante reducción de plantilla (casi el 50%)
	3. COLATERALES		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-2,50	1,00	-0,84	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.
- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

PROPUESTA	4	PT
IDENTIFICACIÓN	Optimización de la potencia y consumos de tracción	
OBJETIVO	Reducción de equipos (CAPEX) y consumos (OPEX), especialmente del material rodante	
IDEAS AGREGADAS	OPX-3	ENE-1

DESCRIPCIÓN	Reconsideración de la potencia de los trenes y de los equipos derivados (SET, CT, etc), y recálculo de costes de energía de tracción.
RECOMENDACIONES FUTURAS	Simulaciones de marchas y consumos en situación normal y degradada.
	Reconsiderar situaciones degradadas.
	Estudios de consumos y equipos.

VENTAJAS	Se reduce el CAPEX global.
	Se reduce el OPEX global de forma muy significativa.

INCONVENIENTES	Menor potencia del material rodante, necesario en ciertos casos degradados.
-----------------------	---

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA			
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.	EJEC. X FASES
Túnel Estaciones Taller y cocheras Sistemas ferroviarios - PCO Material rodante Obras externas					
	Línea	Línea	Línea		
	Flota	Flota	Flota		

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	-0,28	SUMA ALGEBRAICA
		0,69
COSTO	-0,97	INCREMENTO VALOR
		0,17
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	LÍNEA Y FLOTA DE TRENES	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
		1. OPERACIÓN	Disminuye poco	-0,625	0,45	-0,28
	2. NIVEL SERV.		0,00	0,45	0,00	
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-0,63	1,00	-0,28	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	- 112.444	-0,50	0,64	-0,32	Reducción significativa.
	2. OPEX	- 21.950	-2,50	0,26	-0,65	Reducción muy significativa.
	3. COLATERALES		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-3,00	1,00	-0,97	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.

- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

PROPUESTA	5	TP
IDENTIFICACIÓN	Prolongación TBM hasta Calle 85	
OBJETIVO	Reducción de costos de construcción de obra civil y reducción de molestias en superficie durante las obras	
IDEAS AGREGADAS	TUN-1	EST-12

DESCRIPCIÓN	Sustitución del túnel entre pantallas por túnel con TBM entre Gran Colombia y Calle 85. Transformación de Gran Colombia en tipo 2. Estación de Marly suprimida en propuesta LV.
RECOMENDACIONES FUTURAS	Ajustes de trazado en todo el tramo
	Redimensionamiento de tratamientos del terreno
	Reproyectar la estación Gran Colombia
	Reprogramar la obra (ejecución estaciones)

VENTAJAS	Importante ahorro de CAPEX
	Reducción significativa de las molestias en superficie durante las obras
	Mejora el Nivel de Servicio de los andenes de la estación Gran Colombia

INCONVENIENTES	Necesidad de una cuarta tuneladora o que la tercera comience antes

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA			
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.	EJEC. X FASES
Túnel	Tramo				
	Estación	Estación	Estación	Estación	
	Taller y cocheras				
	Sistemas ferroviarios - PCO				
	Material rodante				
	Obras externas	Tramo			

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	0,23	SUMA ALGEBRAICA
		2,33
COSTO	-2,10	INCREMENTO VALOR
		0,80
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	TRAMO DE LA LÍNEA	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. OPERACIÓN		0,00	0,45	0,00	
	2. NIVEL SERV.	Aumenta un poco	0,50	0,45	0,23	Mejora el confort de los pasajeros en los andenes.
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		0,50	1,00	0,23	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	- 433.609	-2,50	0,64	-1,60	Reducción muy significativa.
	2. OPEX	-	0,00	0,26	0,00	
	3. COLATERALES	Disminuye mucho	-5,00	0,10	-0,50	Disminuye significativamente las molestias durante las obras en el tramo.
	TOTAL		-7,50	1,00	-2,10	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.

- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

PROPUESTA	6	TT			
IDENTIFICACIÓN	Optimización de los tratamientos del terreno				
OBJETIVO	Reducción de costos de construcción de obra civil (tratamientos y mejoras del terreno)				
IDEAS AGREGADAS	TUN-2	TUN-3	EST-13		
DESCRIPCIÓN	Optimización de los tapones de fondo del túnel entre pantallas, de los tratamientos de clave en túneles TBM y del tapón de fondo de jet-grouting en estaciones.				
RECOMENDACIONES FUTURAS	Redimensionamiento de los tratamientos de fondo y de clave en túneles y estaciones				
VENTAJAS	Mejora del CAPEX sin reducción de prestaciones Reducción de molestias en superficie durante las obras				
INCONVENIENTES	No se han identificado				

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA			
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.	EJEC. X FASES
Túnel	Línea				
	Estaciones				
	Taller y cocheras				
	Sistemas ferroviarios - PCO				
	Material rodante				
	Obras externas	Línea			

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	0,00	SUMA ALGEBRAICA
		0,57
COSTO	-0,57	INCREMENTO VALOR
		0,13
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	TRAMO DE LA LÍNEA	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
		1. OPERACIÓN		0,00	0,45	0,00
	2. NIVEL SERV.		0,00	0,45	0,00	
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		0,00	1,00	0,00	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	- 99.676	-0,50	0,64	-0,32	Reducción significativa.
	2. OPEX	-	0,00	0,26	0,00	
	3. COLATERALES	Disminuye poco	-2,50	0,10	-0,25	Disminuye significativamente las molestias durante las obras en el tramo.
	TOTAL		-3,00	1,00	-0,57	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

PROPUESTA	7	SF				
IDENTIFICACIÓN	Optimización de los sistemas ferroviarios					
OBJETIVO	Reducción de costos de explotación, optimizando los recursos					
IDEAS AGREGADAS	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	
DESCRIPCIÓN	Conjunto de actuaciones sobre los sistemas de señalización, comunicaciones, PCO y puertas de andén, para optimización de su funcionamiento y reducción del OPEX.					
RECOMENDACIONES FUTURAS	Estudios de detalle asociados a la propuesta					
VENTAJAS	Importante ahorro de OPEX (especialmente mantenimiento y climatización en trenes) Se alarga la vida útil de las puertas de andén y de los trenes					
INCONVENIENTES	Liger a pérdida de seguridad en la retirada de trenes en VG Se complica la interface entre el sistema de puertas de andén y el tren Caso de servicios semidirectos, se reduce la velocidad de paso en estaciones					

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA			
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.	EJEC. X FASES
	Túnel				
	Estaciones	Estaciones	Estaciones		
	Taller y cocheras				
	Sistemas ferroviarios - PCO	Línea	Línea	Línea	
	Material rodante			Flota	
	Obras externas				

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	-0,68	SUMA ALGEBRAICA
		2,87
COSTO	-3,54	INCREMENTO VALOR
		∞
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	LÍNEA	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
		1. OPERACIÓN	Disminuye poco	-2,50	0,45	-1,13
	2. NIVEL SERV.	Aumenta poco	1,00	0,45	0,45	Aumenta el confort de los usuarios
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-1,50	1,00	-0,68	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	- 89.620	-3,50	0,64	-2,24	Reducción significativa.
	2. OPEX	- 18.250	-5,00	0,26	-1,30	Reducción muy significativa.
	3. COLATERALES		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-8,50	1,00	-3,54	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.

- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

PROPUESTA	8	SE
IDENTIFICACIÓN	Optimización pozos de salida de emergencia	
OBJETIVO	Reducción de costos de construcción y afecciones en superficie durante la ejecución de las obras	
IDEAS AGREGADAS	POZ-1	

DESCRIPCIÓN	Modificación de la tipología estructural y reducción de dimensiones de los pozos de salidas de emergencia.
RECOMENDACIONES FUTURAS	Si se desea, estudios y modelos de evacuación en túnel.

VENTAJAS	Ahorro CAPEX de los pozos Menores afecciones en superficie durante las obras Se reducen tratamientos del terreno
----------	--

INCONVENIENTES	Se reducen los accesos de SE de los pozos. Puede ser necesario cruzar las vías, en caso de evacuación.
----------------	--

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA			
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.	EJEC. X FASES
	Túnel	Pozos	Pozos		
	Estaciones				
	Taller y cocheras				
	Sistemas ferroviarios - PCO				
	Material rodante				
	Obras externas	Pozos			

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	-0,45	SUMA ALGEBRAICA
		1,40
COSTO	-1,85	INCREMENTO VALOR
		0,44
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	POZOS	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
		1. OPERACIÓN		0,00	0,45	0,00
	2. NIVEL SERV.	Se reduce un poco	-1,00	0,45	-0,45	Se reducen los accesos a los pozos de SE, pero cumpliendo con la normativa (NFPA-130)
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-1,00	1,00	-0,45	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	- 60.456	-2,50	0,64	-1,60	Reducción muy significativa.
	2. OPEX	-	0,00	0,26	0,00	
	3. COLATERALES	Disminuye poco	-2,50	0,10	-0,25	Menor afección en superficie, por las obras.
	TOTAL		-5,00	1,00	-1,85	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

PROPUESTA	9	IA			
IDENTIFICACIÓN	Obtención de ingresos atípicos				
OBJETIVO	Reducir el OPEX				
IDEAS AGREGADAS	OPX-1	OPX-2	PSD-3		

DESCRIPCIÓN	Ingresos atípicos por alquiler de espacios en estaciones (áreas comerciales ajenas al Metro), por publicidad en trenes y estaciones y por publicidad en puertas de andén.				
RECOMENDACIONES FUTURAS	Estudios de mercado y de comportamiento				

VENTAJAS	Revitaliza el espacio público de andenes, vestíbulos y trenes				
	Obtención de ingresos adicionales				

INCONVENIENTES	No se identifican significativos				

AREA DE PROYECTO QUE SE MODIFICA		CICLO DE VIDA			
		CONSTRUC.	OPERACIÓN	MANTENIM.	EJEC. X FASES
	Túnel				
	Estaciones	Estaciones	Estaciones	Estaciones	
	Taller y cocheras				
	Sistemas ferroviarios - PCO				
	Material rodante		Flota		
	Obras externas				

EVALUACIÓN FINAL DE LA PROPUESTA		
FUNCIÓN	0,00	SUMA ALGEBRAICA
		1,30
COSTO	-1,30	INCREMENTO VALOR
		∞
UNIDAD DE EVALUACIÓN**	LÍNEA	

EVALUACIÓN	FUNCIONES	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. OPERACIÓN		0,00	0,45	0,00	
	2. NIVEL SERV.		0,00	0,45	0,00	
	3. SECUNDARIAS		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		0,00	1,00	0,00	
EVALUACIÓN	COSTOS	VARIACIÓN	INCREMENTO	PESO	I x P	OBSERVACIONES
	1. CAPEX	Indeterm.	0,00	0,64	0,00	
	2. OPEX	- 1.400	-5,00	0,26	-1,30	Reducción significativa, por ingresos atípicos
	3. COLATERALES		0,00	0,10	0,00	
	TOTAL		-5,00	1,00	-1,30	

* El INCREMENTO se puntúa entre -5 y +5. 0 representa indiferente o neutro.

- Cuando el indicador crece, el incremento tiene valor positivo
- Cuando el indicador decrece, el incremento tiene valor negativo

** La UNIDAD DE EVALUACIÓN acota la puntuación otorgada, en relación a la ud.

APÉNDICE 4 - DESGLOSE DE COSTOS Y AHORROS EN CAPEX Y OPEX

PROPUESTAS			COSTOS INGENIERÍA DE VALOR (MCOP)											
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7		EST-10		EST-15		TOTAL					
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)				
									3.025.223	42.627				
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1		VÍA-2		EST-1		EST-6		TOTAL			
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)		
			1.441.044	2.346	220.118	0	19.429	0	106.950	0	1.787.542	2.346		
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3		MOP-4		TOTAL							
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)						
			0	19.687	3.130.578	4.827	3.130.578	24.514						
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3		ENE-1		TOTAL							
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)						
			1.368.992	24.970	148.574	Irrelevante	1.517.566	24.970						
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1		EST-12		TOTAL							
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX CL1	OPEX CL1 (2021)						
			420.653	Irrelevante	221.294	Irrelevante	641.947	0						
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2		TUN-3		EST-13		TOTAL					
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX CL1	OPEX CL1 (2021)				
			175.936	0	83.196	0	637.956	0	897.088	0				
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1		COM-1		PSD-1		PSD-2		PCO-1		TOTAL	
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)
			0	0	44.000	0	500	0	0	0	0	0	44.500	0
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1		TOTAL									
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)								
			76.296	Irrelevante	76.296	0								
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1		OPX-2		PSD-3		TOTAL					
			CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)	CAPEX IdV	OPEX IdV (2021)				
									Indeterm.	1.400				

PROPUESTAS		Δ COSTOS (MCOP) = COSTOS INGENIERÍA DE VALOR - COSTOS CL1										INDICADOR DE COSTO (HOMOGENEIZANDO O SEGREGANDO CAPEX & OPEX)											
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7		EST-10		EST-15		Obras exteriores		TOTAL												
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO				
			-139.052	0	-181.085	0	-19.436	0	-53.550	0	-393.123	-2.243,5	-617.473	7.905.346	-7,81%	3.418.346	-11,50%	44.870	-5,00%				
											-0,5							-1,0		-0,75		-0,5	
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VÍA-1		VÍA-2		EST-1		EST-6		TOTAL												
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO				
			-64.046	0	-9.222	0	-198.413	-2.243,5	-121.685	-2.243,5	-393.366	-4.487	-842.066	2.864.207	-29,40%	2.180.907	-18,04%	6.833	-65,67%				
											-1,5							-1,0		-2,25		-3,5	
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3		MOP-4		TOTAL																
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO								
			0	-19.687	-271.182	4.827	-271.182	-14.860	-1.757.182	7.339.160	-23,94%	3.401.760	-7,97%	39.374	-37,74%								
											-1,5							-0,5		-1,25		-2,0	
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3		ENE-1		TOTAL																
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO								
			-72.052	-21.950	-40.392	0	-72.052	-21.950	-2.307.444	6.322.010	-36,50%	1.630.010	-6,90%	46.920	-46,78%								
											-2,0							-0,5		-1,5		-2,5	
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1		EST-12		TOTAL																
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO								
			-415.965	0	-17.645	0	-415.965	0	-433.609	1.075.556	-40,31%	1.075.556	-40,31%	0	N.A.								
											-2,5									N.A.			
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2		TUN-3		EST-13		TOTAL														
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO								
			-19.548	0	-9.244	0	-70.884	0	-99.676	996.764	-10,00%	996.764	-10,00%	0	N.A.								
											-0,5							-0,5		N.A.			
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1		COM-1		PSD-1		PSD-2		PCO-1		TOTAL										
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO				
			-60.720	-7.500	-20.000	-10.000	500	-750	-2.500	0	-6.900	0	-89.620	-18.250	-1.914.620	1.959.120	-97,73%	134.120	-66,82%	18.250	-100,00%		
											-5,0							-3,5		-4,25		-5,0	
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1		TOTAL																		
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO										
			-60.456	0	-60.456	136.752	-44,21%	136.752	-44,21%	0	N.A.												
											-2,5							-2,5		N.A.			
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1		OPX-2		PSD-3		TOTAL														
			Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ COSTO CAPEX	Δ COSTO OPEX	Δ (CAPEX + 100-OPEX)	CAPEX + 100-OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	CAPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO	OPEX (CL1)	INDICADOR DE COSTO								
			Indeterm.	-1.400	-140.000	0	N.A.	0	N.A.	0	N.A.	0	N.A.	0	N.A.								
											N.A.							N.A.		N.A.			

1 - ES							
ESTACION	O.Civil+Arq+ME x 1,32 (MCOP)	Obra civil Caja x 1,32 (MCOP)	EST-7. Ahorro CAPEX (MCOP)	EST-10. Ahorro CAPEX -neto- (MCOP)	EST-15. Ahorro CAPEX (MCOP)	Ahorros CAPEX -obras exteriores- (MCOP)	AHORRO CAPEX NETO (MCOP)
Portal de las Americas	312.778	196.254	9.813	18.063	1.668	3.069	32.614
Casablanca	177.042	Se considera su supresión, según Propuesta 2 - LV					
Villavicencio	178.868	130.955	6.548	11.207	1.113	1.167	20.035
Palenque	167.328	120.402	6.020	10.099	1.023	1.289	18.432
Kennedy	184.749	124.432	6.222	10.522	1.058	1.917	19.719
Boyaca	234.082	141.397	7.070	12.303	1.202	1.898	22.473
1 de Mayo	173.918	124.597	6.230	10.539	1.059	1.204	19.032
Avenida 68	262.755	158.463	No conveniente	14.095	1.347	5.406	20.848
Rosario	193.156	131.525	6.576	11.267	1.118	860	19.821
NQS	227.536	144.023	7.201	12.579	1.224	6.425	27.430
Santander	203.539	127.938	No conveniente	8.614	1.087	1.767	11.469
Nariño	152.715	88.534	4.427	5.265	753	1.728	12.172
Hortua	213.421	125.626	No conveniente	8.418	1.068	2.382	11.868
S.Victorino	209.358	127.414	No conveniente	8.570	1.083	1.693	11.346
Lima	199.045	120.940	6.047	8.019	1.028	2.963	18.058
La Rebeca	294.476	211.224	10.561	15.693	1.795	3.482	31.532
P.Nacional	277.446	212.843	10.642	15.831	1.809	1.629	29.912
Gran Colombia	198.320	Se considera en la Propuesta 5 - TP, al tratarse de una estación Tipo 3 (andén central)					
Marly	193.649	Se considera su supresión, según Propuesta 2 - LV					
Sto. Tomas	156.565	113.323	5.666	Tipo pantalla		1.452	7.119
Pza. Lourdes	134.044	94.867	4.743	Tipo pantalla		1.862	6.605
Av. Chile	153.164	97.860	No conveniente	Tipo pantalla		0	0
Calle 85	181.258	131.395	6.570	Tipo pantalla		1.854	8.424
Parque 93	159.843	118.169	5.908	Tipo pantalla		2.070	7.979
Calle 100	196.811	130.965	6.548	Tipo pantalla		1.411	7.959
Usaquen	201.319	131.489	6.574	Tipo pantalla		2.986	9.561
Calle 127	426.858	313.710	15.685	Tipo pantalla		3.033	18.719
	5.664.043	3.418.346	139.052	181.085	19.436	53.550	393.123

OPEX CL1 (MCOP)	OPEX IdV (MCOP)	AHORRO OPEX NETO (MCOP)
44.870	47.114	2.243,5
(OPEX de 20 estaciones)		(-5% x 20 estaciones)

2 - LV	Optimización de la Línea y de la vía	CAPEX TOTAL (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
VIA-1	Optimización del trazado ferroviario	Costo material rodante (2 UT)	1.505.090	Costo material rodante (0 UT)	1.441.044	Ahorro material rodante	64.046
VÍA-2	Empleo de carril de menor peso por metro lineal	Costo superestructura de vía	229.340	Costo superestructura de vía	220.118	Ahorro superestructura vía	9.222
EST-1	Supresión de la estación Casablanca	Costo estación Casablanca	217.842	Costo túnel (TBM) y pozo SE	19.429	Ahorro por sustitución est.	198.413
EST-6	Supresión de la estación Marly	Costo estación Marly	228.635	Costo túnel (C&C) y pozo SE	106.950	Ahorro por sustitución est.	121.685
		TOTAL	2.180.907	TOTAL	1.787.542	TOTAL	393.366
							18,04%

2 - LV	Optimización de la Línea y de la vía	OPEX 2021 (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
VIA-1	Optimización del trazado ferroviario	Consumo 2 trenes	2.346	Consumo 0 trenes	2.346	Ahorro consumo 2 trenes	-
VÍA-2	Empleo de carril de menor peso por metro lineal	Mantenimiento de vía	Irrelevante	Mantenimiento de vía	Irrelevante	Ahorro mantenimiento vía	-
EST-1	Supresión de la estación Casablanca	O&M estación Casablanca	2.243,5	O&M túnel (TBM) y pozo SE	Irrelevante	Ahorro por sustitución est.	2.244
EST-6	Supresión de la estación Marly	O&M estación Marly	2.243,5	O&M túnel (C&C) y pozo SE	Irrelevante	Ahorro por sustitución est.	2.244
		TOTAL	6.833	TOTAL	2.346	TOTAL	4.487
(El consumo de los 2 trenes suprimidos de CL1 se reparte entre el consumo de los restantes trenes circulantes en IdV)							65,67%

Costo CL1 homogeneizado:	2.864.207
Ahorro homogeneizado:	842.066
Indicador valor:	29,40%

3 - GA	Optimización del grado de automatización operacional	CAPEX TOTAL (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
MOP-3	Automatización de estaciones con reduc. personal	Costo Automatización estac.	-	Costo Automatización estac.	-	Costo Automatización estac.	-
MOP-4	Limitar el grado de automatización a GoA3	Costo Sistemas Ferroviarios	3.401.760	Costo Sistemas Ferroviarios	3.130.578	Costo Sistemas Ferroviarios	271.182
		TOTAL	3.401.760	TOTAL	3.130.578	TOTAL	271.182
							7,97%

3 - GA	Optimización del grado de automatización operacional	OPEX 2021 (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
MOP-3	Automatización de estaciones con reduc. personal	Personal estaciones	39.374	Personal estaciones	19.687	Personal estaciones	19.687
MOP-4	Limitar el grado de automatización a GoA3	Agentes a bordo	-	Agentes a bordo	4.827	Agentes a bordo	- 4.827
		TOTAL	39.374	TOTAL	24.514	TOTAL	14.860
							37,74%

Costo CL1 homogeneizado:	7.339.160
Ahorro homogeneizado:	1.757.182
Indicador valor:	23,94%

4 - PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	CAPEX TOTAL (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
OPX-3	Análisis del consumo por coche-km	Costo 45 trenes 4.500 kW	1.441.044	Costo 45 trenes 3.600 kW	1.368.992	Ahorro coste 45 trenes	72.052
ENE-1	Reestudio de la demanda energética	Costo equipos de potencia	188.966	Costo equipos de potencia	148.574	Costo equipos de potencia	40.392
		TOTAL	1.630.010	TOTAL	1.517.566	TOTAL	112.444
		(2 UTs han sido eliminadas en LV)		(-5% costo trenes menos potentes)			6,90%

4 - PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPEX 2021 (MCOP)						
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV		
OPX-3	Análisis del consumo por coche-km	Consumo 34 trenes 6,74 kWh	46.920	Consumo 34 trenes 3,6 kWh	24.970	Ahorro consumo 34 trenes	21.950	
ENE-1	Reestudio de la demanda energética	Consumo equipos de pot.	Irrelevante	Consumo equipos de pot.	Irrelevante	Consumo equipos de pot.	-	
		TOTAL	46.920	TOTAL	24.970	TOTAL	21.950	
		(Equivalente al consumo con +2 Uts, eliminadas en LV, pues el consumo de éstos se reparte entre los restantes trenes circulantes en IdV)						46,78%

Costo CL1 homogeneizado:	6.322.010
Ahorro homogeneizado:	2.307.444
Indicador valor:	36,50%

5 - TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	CAPEX TOTAL (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
TUN-1	Sustitución túnel C&C por TBM hasta Calle 85	Túnel C&C	836.618	Túnel TBM	420.653	Sustitución tipología túnel	415.965
EST-12	Transformación Gran Colombia en estación tipo 3	Estación tipo 3	238.938	Estación tipo 2	221.294	Sustitución tipología estac.	17.645
		TOTAL	1.075.556	TOTAL	641.947	TOTAL	433.609
							40,31%

5 - TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	OPEX 2021 (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
TUN-1	Sustitución túnel C&C por TBM hasta Calle 85	Túnel C&C	Irrelevante	Túnel TBM	Irrelevante	Sustitución tipología túnel	-
EST-12	Transformación Gran Colombia en estación tipo 3	Estación tipo 3	Irrelevante	Estación tipo 2	Irrelevante	Sustitución tipología estac.	-
		TOTAL	-	TOTAL	-	TOTAL	-
							0,00%

Costo CL1 homogeneizado:	1.075.556
Ahorro homogeneizado:	433.609
Indicador valor:	40,31%

6 - TT	Optimización de los tratamientos del terreno	CAPEX TOTAL (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
TUN-2	Tapón de fondo del túnel entre pantallas	Tapón de jet	195.484	Tapón de jet	175.936	Tapón de jet	19.548
TUN-3	Tratamientos en clave de túneles con TBM	Tratamientos en clave TBM	92.440	Tratamientos en clave TBM	83.196	Tratamientos en clave TBM	9.244
EST-13	Tapón de fondo en estaciones	Tapón de jet	708.840	Tapón de jet	637.956	Tapón de jet	70.884
		TOTAL	996.764	TOTAL	897.088	TOTAL	99.676
							10,00%

6 - TT	Optimización de los tratamientos del terreno	OPEX 2021 (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
TUN-2	Tapón de fondo del túnel entre pantallas	Tapón de jet	0	Tapón de jet	0	Tapón de jet	-
TUN-3	Tratamientos en clave de túneles con TBM	Tratamientos en clave TBM	0	Tratamientos en clave TBM	0	Tratamientos en clave TBM	-
EST-13	Tapón de fondo en estaciones	Tapón de jet	0	Tapón de jet	0	Tapón de jet	-
		TOTAL	-	TOTAL	-	TOTAL	-
							0,00%

Costo CL1 homogeneizado:	996.764
Ahorro homogeneizado:	99.676
Indicador valor:	10,00%

7 - SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	CAPEX TOTAL (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
SEÑ-1	Eliminar el sistema ATP de respaldo	Sistema ATP de respaldo	60.720	Sin sistema ATP de respaldo	-	Eliminación ATP de respaldo	60.720
COM-1	Integración de red de voz, datos, vídeo y señaliz.	3 redes	64.000	2 redes	44.000	Redes integradas	20.000
PSD-1	Sistema de apertura selectiva de puertas de andén	Abren todas las puertas	-	Abren puertas seleccionadas	500	Apertura selectiva	- 500
PSD-2	Reducción hueco puertas de andén-tren	Gap proyecto	2.500	Gap reducido	-	Reducción del gap	2.500
PCO-1	Aumento nivel SIL en sist. telemando y telecont.	SIL 0	6.900	SIL 2/3	-	Reducción nivel SIL	6.900
		TOTAL	134.120	TOTAL	44.500	TOTAL	89.620
							66,82%

7 - SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	OPEX 2021 (MCOP)					
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV	
SEÑ-1	Eliminar el sistema ATP de respaldo	Sistema ATP de respaldo	7.500	Sin sistema ATP de respaldo	-	Eliminación ATP de respaldo	7.500
COM-1	Integración de red de voz, datos, vídeo y señaliz.	3 redes	10.000	2 redes	-	Redes integradas	10.000
PSD-1	Sistema de apertura selectiva de puertas de andén	Abren todas las puertas	750	Abren puertas seleccionadas	-	Apertura selectiva	750
PSD-2	Reducción hueco puertas de andén-tren	Gap proyecto	Irrelevante	Gap reducido	Irrelevante	Reducción del gap	-
PCO-1	Aumento nivel SIL en sist. telemando y telecont.	SIL 0	Irrelevante	SIL 2/3	Irrelevante	Reducción nivel SIL	-
		TOTAL	18.250	TOTAL	-	TOTAL	18.250
							0,00%

Costo CL1 homogeneizado:	1.959.120
Ahorro homogeneizado:	1.914.620
Indicador valor:	97,73%

8 - SE		Optimización pozos de salida de emergencia		CAPEX TOTAL (MCOP)			
				CL1		IdV	
POZ-1	Modificación pozos salidas de emergencia	Salida en cada lado del túnel	136.752	Salida a un lado + gal. conex.	76.296	Diferencial tipología	60.456
		TOTAL	136.752	TOTAL	76.296	TOTAL	60.456
							44,21%

8 - SE		Optimización pozos de salida de emergencia		OPEX 2021 (MCOP)			
				CL1		IdV	
POZ-1	Modificación pozos salidas de emergencia	Salida en cada lado del túnel	Irrelevante	Salida a un lado + gal. conex.	Irrelevante	Diferencial tipología	-
		TOTAL	-	TOTAL	-	TOTAL	-
							0,00%

Costo CL1 homogeneizado:	136.752
Ahorro homogeneizado:	60.456
Indicador valor:	44,21%

9 - IA	Obtención de ingresos atípicos	CAPEX TOTAL (MCOP)				
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV
OPX-1	Alquiler de espacios en estaciones		-		Indeterm.	-
OPX-2	Publicidad en trenes y estaciones		-		-	-
PSD-3	Pantallas mixtas info-publi en puertas de andén		-		-	-
TOTAL			-	TOTAL	-	TOTAL
						-

9 - IA	Obtención de ingresos atípicos	OPEX 2021 (MCOP)				
		CL1		IdV		Ahorro = CL1 - IdV
OPX-1	Alquiler de espacios en estaciones		-			
OPX-2	Publicidad en trenes y estaciones		-	-	1.400	1.400
PSD-3	Pantallas mixtas info-publi en puertas de andén		-			
TOTAL			-	TOTAL	- 1.400	TOTAL
						0,00%

Costo CL1 homogeneizado:	-
Ahorro homogeneizado:	140.000
Indicador valor:	N.A.

APÉNDICE 5 - RESUMEN DE PROPUESTAS DE IDEAS AGREGADAS

ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR DEL PROYECTO DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO DE BOGOTÁ
RESUMEN DE VARIACIÓN DE COSTOS CAPEX Y OPEX DE LAS PROPUESTAS

PROPUESTAS		IDEAS AGREGADAS					CAPEX TOTAL		OPEX (2021)	CAPEX + 100-OPEX	
							15.085.820				
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15		-393.123	-2,61%	-2.244	-617.473	
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6	-393.366	-2,61%	-4.487	-842.066	
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4			-271.182	-1,80%	-14.860	-1.757.182	
4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1			-112.444	-0,75%	-21.950	-2.307.444	
5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12			-433.609	-2,87%	0	-433.609	
6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13		-99.676	-0,66%	0	-99.676	
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	-89.620	-0,59%	-18.250	-1.914.620
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1				-60.456	-0,40%	0	-60.456	
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3		Indeterm.	0,00%	-1.400	-140.000	
							-1.853.476	-12,29%	-63.191	-8.172.526	

Δ CAPEX alto - Δ OPEX medio/bajo

OBRA

5	TP	Prolongación TBM hasta Calle 85	TUN-1	EST-12			-433.609	-2,87%	0	-433.609
1	ES	Optimización del diseño de estaciones	EST-7	EST-10	EST-15		-393.123	-2,61%	-2.244	-617.473
2	LV	Optimización de la Línea y de la vía	VIA-1	VÍA-2	EST-1	EST-6	-393.366	-2,61%	-4.487	-842.066
							-1.220.098	-8,09%	-6.731	-1.893.148

Δ OPEX alto - Δ CAPEX medio/bajo

O&M

4	PT	Optimización de la potencia y consumos de tracción	OPX-3	ENE-1			-112.444	-0,75%	-21.950	-2.307.444	
7	SF	Optimización de los sistemas ferroviarios	SEÑ-1	COM-1	PSD-1	PSD-2	PCO-1	-89.620	-0,59%	-18.250	-1.914.620
3	GA	Optimización del grado de automatización operacional	MOP-3	MOP-4			-271.182	-1,80%	-14.860	-1.757.182	
							-473.246	-3,14%	-55.060	-5.979.246	

Δ CAPEX y Δ OPEX irrelevantes

-

6	TT	Optimización de los tratamientos del terreno	TUN-2	TUN-3	EST-13		-99.676	-0,66%	0	-99.676
8	SE	Optimización pozos de salida de emergencia	POZ-1				-60.456	-0,40%	0	-60.456
9	IA	Obtención de ingresos atípicos	OPX-1	OPX-2	PSD-3		Indeterm.	0,00%	-1.400	-140.000
							-160.132	-1,06%	-1.400	-300.132

APÉNDICE 6 - ANÁLISIS DE LOS PRECIOS UNITARIOS

TABLA DE CONTENIDO

1.	COSTOS UNITARIOS DE CONSTRUCCIÓN.....	5
1.1	DESAGREGACIÓN COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO BÁSICO AVANZADO.....	5
1.2	CONDICIÓN DEL MERCADO ÍTEMS PARETO	9
1.2.1	Concreto convencional.....	10
1.2.2	Acero de refuerzo.....	11
1.2.3	Excavación pantallas.....	12
1.2.4	Excavación tuneladora	12
1.2.5	Material rodante.....	13
1.2.6	Precios referenciales de proyectos de líneas de metro	13
1.2.7	Condiciones de producción concretos y cemento.....	14
1.2.8	Impacto general.....	15
1.3	COSTOS INDIRECTOS - ADMINISTRACIÓN, IMPREVISTOS Y UTILIDAD.....	15
1.4	RENDIMIENTOS	17
1.5	PROPUESTAS RELATIVAS A LOS COSTOS	18
1.5.1	Antecedentes.....	19
1.5.1.1	Colombia –Metro de Medellín	19
1.5.1.2	Panamá – Metro Ciudad de Panamá	19
1.5.1.3	Ecuador – Metro Quito	19
1.5.1.4	Perú – Metro Lima - Callao	19
1.5.1.5	Brasil – Línea 4 del metro Sao Pablo.....	20
1.5.1.6	Chile Línea 3 y Línea 6.....	20
1.5.2	Exención de los impuestos del AIU.....	20
1.5.3	Exención IVA	21
1.5.4	Mercado asiático	23

1.5.5	Alternativas adicionales evaluadas	24
1.5.5.1	Transporte terrestre suministros importados.....	24
1.5.5.2	Utilización vías férreas dentro de Bogotá.....	24
1.5.5.3	Utilización de agua de otras fuentes	25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1–1 Costos resumidos PLBM.....	5
Tabla 1–2 Distribución costos directos	6
Tabla 1–3 Ítems representativos costos directos.....	7
Tabla 1–4 Costos directos sistemas y comunicaciones	9
Tabla 1–5 Costos directos sistemas y comunicaciones	9
Tabla 1–6 Cantidades y precios unitario promedio ítems representativos	10
Tabla 1–7 Cuadro resumen de características de líneas de metro ejecutadas recientemente en Latinoamérica	13
Tabla 1–8 Comparativo precios presupuesto CL1 vs. Precios referenciales	15
Tabla 1–9 Comparativo rendimientos maquinaria ítems representativos.....	18
Tabla 1–10 Composición del componente Administración del AIU	20
Tabla 1–11 Impuesto contenidos en el AIU	20
Tabla 1–12 Tabla de distribución de costos directos por divisas por obra	21
Tabla 1–13 Beneficios por la exoneración impuesto IVA suministros importados	22
Tabla 1–14 Beneficios por la exoneración impuesto IVA suministros nacionales (ítems representativos)	23
Tabla 1–15 Beneficios por la exoneración impuesto IVA utilidad contratista	23
Tabla 1–16 Costos transporte ítems con componente importado	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–1 Incidencia ítems representativos presupuesto costos directos	8
Figura 1–2 Curva probabilística concreto convencional	11
Figura 1–3 Curva probabilística acero de refuerzo	12
Figura 1–4 Empresas productoras de cemento en Colombia - Distribución del mercado.....	14
Figura 1–5 Porcentajes de administración, imprevistos y utilidad (AIU) referenciales	16
Figura 1–5 Curva probabilidad AIU	17

1. COSTOS UNITARIOS DE CONSTRUCCIÓN

En el siguiente capítulo se presenta el análisis del presupuesto del proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá (en adelante PLMB) en el marco del desarrollo del Estudio de Ingeniería de Valor, para el logro del objetivo se divido los trabajos en cinco partes de manera que permita dar una visión desde un punto de vista de ítems de construcción representativos menos globales y de mayor detalle, permitiendo enmarcarlos dentro de un contexto de condición de mercado y escenarios de análisis de acuerdo con la particularidad de cada uno.

El detalle de la información se presenta en los siguientes componentes:

- Desagregación costos directos del Proyecto Básico Avanzado.
- Ítems representativos (pareto) del presupuesto.
- Costos indirectos: porcentajes de Administración, Imprevistos y utilidad (AIU).
- Rendimientos maquinaria ítems representativos.
- Propuestas relativa a los costos

Es de anotar que en el presente capítulo solo se desarrollan temas relacionados con los costos propiamente dichos en relación, las valoraciones y resultados de mejoras constructivas, condiciones de operación, tecnología aplicable, cambio de especificaciones que ciertamente impactan los costos están evaluadas en cada uno de los capítulos correspondientes de acuerdo con el alcance y alternativa identificada dentro del desarrollo del Estudio de ingeniería de valor.

1.1 DESAGREGACIÓN COSTOS DIRECTOS DEL PROYECTO BÁSICO AVANZADO

Para la valoración de los costos de PLMB se adelantó el análisis sobre las partidas más representativas del presupuesto, principalmente los costos directos correspondientes a la obra civil y equipos electromecánicos, para lo cual se partió de la información suministrada por el consorcio CL1 (en adelante CL1) la cual se presenta de manera resumida en la siguiente tabla:

Tabla 1–1 Costos resumidos PLBM

Descripción	Costo (M COP)	% del total
Estudios y diseños	211.497	1,4%
Línea	2.779.393	18,4%
Obras de estructuras afectadas	3.317	0,0%
Puesto central de control	85.915	0,6%
Urbanismo y paisajismo	407.716	2,7%
Desvío de redes y recuperación	252.389	1,7%
Desvío de tráfico	124.826	0,8%
Estaciones	4.290.943	28,4%
Taller y cocheras	465.103	3,1%
Alimentación eléctrica	272.191	1,8%
Señalización y control de trenes	211.848	1,4%
Puertas andén	121.514	0,8%

Descripción	Costo (M COP)	% del total
Comunicaciones	253.166	1,7%
Superestructura de la vía	173.742	1,2%
Material rodante	1.132.802	7,5%
Total	10.786.363	71,5%
AIU	2.750.522	18,2%
IVA	51.775	0,3%
Total costo directo	13.588.660	90,1%
Medio ambiente	67.943	0,5%
Predios y legalizaciones	840.467	5,6%
Asistencia técnica en das de licitación diseño y obra	135.887	0,9%
Interventoría fase obra	339.716	2,3%
Auscultación	63.147	0,4%
Asistencia técnica operativa	50.000	0,3%
Gastos adicionales del distrito	1.497.160	9,9%
Total proyecto	15.085.820	100,0%

De la anterior tabla se aprecia que el 90% corresponde a los costos directos del proyecto y el 10% restante a costos del Distrito. Igualmente, dentro de los costos directos los mayores rubros se concentran en las estaciones 28%, línea 18% y material rodante 7% para un total del 54% del costo total de proyecto, equivalente al 68% de los costos totales del proyecto con AIU incluido. Estas obras corresponden al 76% de solo los costos directos con AIU.

En la siguiente tabla se presenta la distribución de los costos directos del proyecto, agrupados por similitud técnica, interdependencia, tipo de suministros, obras complementarias y estudios, que facilitará el análisis de costos. El primer grupo de obras corresponde a todos los trabajos de obra civil mayor y suministros directamente asociados al trazado de la línea del metro y el material rodante. El segundo grupo corresponde a las obras relacionada con los sistemas de comunicación y control. El tercer grupo está relacionado con obras complementarias necesarias para la habilitación del corredor para la construcción de la línea y posterior terminación y reestructuración urbanística de la zona de influencia directa de la línea del metro. Por último quedan el tema de desvío del tráfico actividad transversal a todas las obras del proyecto y los estudios y diseños para construcción.

Tabla 1–2 Distribución costos directos

Descripción	Cotos (M COP)	% de los costos directos (sin AIU)	% acumulado	% por grupo
Estaciones	4.290.943	39,8%	39,8%	82,0%
Línea	2.779.393	25,8%	65,5%	
Material rodante	1.132.802	10,5%	76,1%	
Taller y cocheras	465.103	4,3%	80,4%	
Superestructura de la vía	173.742	1,6%	82,0%	

Descripción	Cotos (M COP)	% de los costos directos (sin AIU)	% acumulado	% por grupo
Alimentación eléctrica	272.191	2,5%	84,5%	8,7%
Comunicaciones	253.166	2,3%	86,8%	
Señalización y control de trenes	211.848	2,0%	88,8%	
Puertas andén	121.514	1,1%	89,9%	
Puesto central de control	85.915	0,8%	90,7%	
Urbanismo y paisajismo	407.716	3,8%	94,5%	6,2%
Desvío de redes y recuperación	252.389	2,3%	96,9%	
Obras de estructuras afectadas	3.317	0,0%	96,9%	
Desvío de tráfico	124.826	1,2%	98,0%	1,2%
Estudios y diseños	211.497	2,0%	100,0%	2,0%
Total	10.786.363	100,0%		

A partir de la anterior distribución de costos pareto se realizó el análisis para las obras de mayor impacto, 82% de los costos directos del proyecto. Para el desarrollo de dicho análisis se discriminaron las diferentes obras en ítems representativos. Esta desagregación permite evaluar las obras de manera más detallada y un nivel de menor complejidad, facilitando la identificación de los insumos que generan mayor impacto y sobre los que se podría buscar acciones concretas para la reducción de costos.

Como resultado de la desagregación se obtuvo la siguiente tabla de ítems:

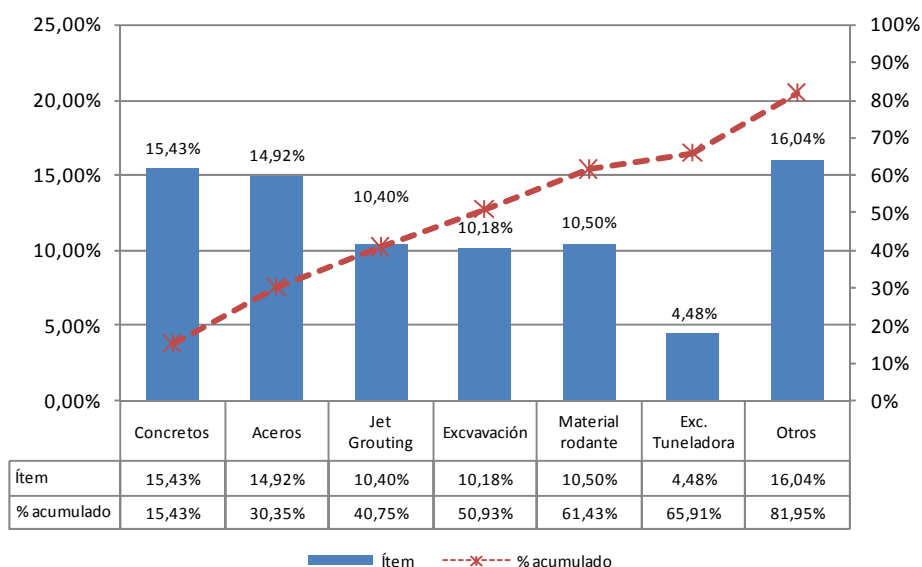
Tabla 1-3 Ítems representativos costos directos

Ítem	Un	Cantidades	Costo (M COP)	% de las obras pareto	% de costo directo
Concretos				18,82%	15,43%
Concreto convencional	m ³	3.485.167	\$ 1.524.065	17,24%	14,13%
Dovelas	m	12.093	\$ 139.864	1,58%	1,30%
Aceros				18,21%	14,92%
Acero de refuerzo	kg	470.455.395	\$ 1.334.478	15,10%	12,37%
Otros aceros	kg	38.170.664	\$ 228.355	2,58%	2,12%
Carril	m	169.093	\$ 46.596	0,53%	0,43%
Tratamiento Jet Grouting				12,69%	10,40%
Tratamiento Jet Grouting	m	3.380.129	\$ 277.762	3,14%	2,58%
	m ³	2.299.829	\$ 844.438	9,55%	7,83%
Excavaciones				12,42%	10,18%
Excavación. pantallas	m ²	38.329	\$ 15.615	0,18%	0,14%

Ítem	Un	Cantidades	Costo (M COP)	% de las obras pareto	% de costo directo
	m³	1.647.079	\$ 573.439	6,49%	5,32%
Excavación. entre pantallas	m³	4.858.144	\$ 402.035	4,55%	3,73%
Excavación. corte abierto	m³	2.739.278	\$ 99.555	1,13%	0,92%
Excavación. zona cubierta	m³	96.402	\$ 7.075	0,08%	0,07%
Excavación. Tuneladora	m	12.093	\$ 483.343	5,47%	4,48%
Material rodante	gl		\$ 1.132.802	12,81%	10,50%
Otros ítems			\$ 1.730.429	19,58%	16,04%
Total			\$ 8.839.851	100,00%	81,95%

En la gráfica siguiente se presenta el comportamiento de cada uno de los ítems anteriores:

Figura 1–1 Incidencia ítems representativos presupuesto costos directos



Para el restante de los costos directos del proyecto, equivalente al 18%, se presenta a continuación una descripción general de la composición y los ítems que mayor relevancia. Dentro de estos rubros se destacan todos los correspondientes a los sistemas y comunicaciones, insumos que en su mayoría corresponden a bienes importados que de lograrse establecer condiciones de exención de impuestos y/o aranceles podrían impactar positivamente los costos del proyecto.

Tabla 1–4 Costos directos sistemas y comunicaciones

Descripción	Costo (M COP)	% de grupo de obras	% de costo directo
Alimentación eléctrica	\$ 944.634	100%	8,7%
Comunicaciones			
Señalización y control de trenes			
Puertas andén			
Puesto central de control			

Tabla 1–5 Costos directos sistemas y comunicaciones

Descripción	Costo (M COP)	% de grupo de obras	% de costo directo
Urbanismo	\$ 407.716	61,5%	3,78%
Otros	\$ 176.973	26,7%	1,63%
Rellenos	\$ 99.376	15,0%	0,92%
Pavimentos (asfáltico y concreto)	\$ 95.624	14,4%	0,89%
Piso Loseta prefabricada	\$ 35.743	5,4%	0,33%
Desvió de redes	\$ 251.691	38,0%	2,33%
Otros	\$ 95.930	14,5%	0,89%
Tuberías - Acometidas	\$ 66.980	10,1%	0,62%
Expansión red eléctrica	\$ 22.707	3,4%	0,21%
Cajas empalme	\$ 22.129	3,3%	0,21%
Rellenos	\$ 19.163	2,9%	0,18%
Entibado metálico	\$ 15.390	2,3%	0,14%
Mezcla asfáltica	\$ 9.392	1,4%	0,09%
Estructuras afectadas	\$ 3.317	0,5%	0,03%
Concretos	\$ 1.218	0,2%	0,01%
Acero	\$ 1.028	0,2%	0,01%
Otros	\$ 1.072	0,2%	0,01%
Total	\$ 662.724	100,0%	6,14%

Para el grupo de obras correspondientes a urbanismo, desvío de redes y recuperaciones y obras de estructuras afectadas, se resaltan ítems como pavimentos, losas prefabricadas para andenes, tuberías y rellenos equivalentes al 3% del total de los costos directos del proyecto sin AIU.

1.2 CONDICIÓN DEL MERCADO ÍTEMS PARETO

Detallado los costos por ítems representativos se procedió a la evaluación de los mismos dentro de un escenario de condiciones de mercado a partir de información referencial de proyectos construidos o en construcción con inversiones significativas (Proyectos hidroeléctricos y vías entre

otros), evidenciando órdenes de magnitud, rangos de variación y escenarios de posible reducción de costos.

Tabla 1–6 Cantidades y precios unitario promedio ítems representativos

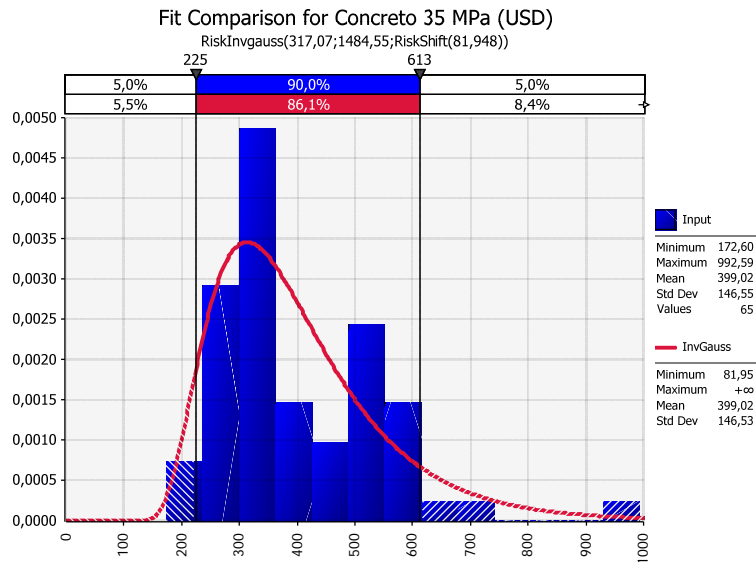
Ítem	Un.	Cantidad	Costo Unitario CL1 (COP)	Costo Unitario CL1 (USD)
Concretos	m ³	3.485.167	\$ 437.300	\$ 219
Aceros	t	470.455	\$ 2.837	\$ 1,42
Excavación pantallas	m ³	1.647079	\$ 348.155	\$ 174
Excavación Tuneladora	m	12.093	\$ 39.968.543	\$ 20.005
Dovelas túnel	m	12.093	\$ 11.565.624	\$ 5.789

Para los ítems mostrados en la tabla anterior se realizó un análisis de comportamiento de los precios unitarios ofertados en diferentes contratos. El análisis consistió en la identificación y selección de ítems con similares características, indexación de los precios unitarios a una misma fecha para poder hacerlos comparables a través del tiempo, posteriormente se obtienen una curva de frecuencias o histograma, para seguidamente obtener a partir del software @risk una curva de distribución de probabilidad, la que a su vez facilita identificar diferentes valores de ocurrencia de acuerdo con la muestra seleccionada.

1.2.1 Concreto convencional

Para el concreto convencional se tomó una muestra de 65 datos de concretos en al menos 14 proyectos, como resultado se obtuvo la siguiente curva probabilística. De la figura se observa que el mayor número de registros de la muestra se centran sobre el rango de los 300 USD-m³, con un valor medio de 399 USD-m³ y una desviación estándar de 146 USD-m³.

Figura 1–2 Curva probabilística concreto convencional



Si bien la curva probabilística presenta una asimetría positiva, con mayor número de datos de la muestra localizados sobre los rangos de costos bajos (lado izquierdo de la curva), estos son más altos que el valor promedio de 214 USD-m³ empleados por CL1 para el estimativo del presupuesto.

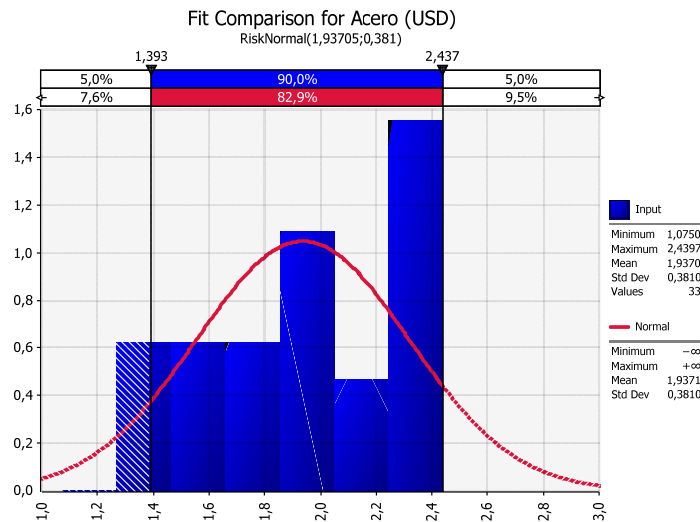
Si evalúan el costo de los concretos con un valor cercano al valor más frecuente, del orden de 300^oUSD-m³ la diferencia es del orden del 37%, diferencia que puede incrementar del orden del 5,7% el costo del proyecto. Esta condición no puede verse impactada por la condición de competencia de mercado existente en Colombia y en Bogotá particularmente donde el mercado del concreto y el cemento funciona bajo un oligopolio de tres empresas.

Dentro de estos insumos se resalta la disponibilidad de agregados cerca de la ciudad, las fuentes licenciadas en Bogotá corresponden a las empresa cementeras y en su gran mayoría los volúmenes restantes para la construcción son traídos de zonas alejadas, aumentando el costos de transporte, es el caso del material traído del Guamo – Tolima, ubicado a más de 170 km de Bogotá.

1.2.2 Acero de refuerzo

Para el acero de refuerzo se analizó una muestra de 33 datos de 14 proyectos de referencia. Esta curva es más simétrica, sin embargo a diferencia del concreto convencional se presentan valores concentrados hacia el rango más alto, mayor frecuencia, condición que está en concordancia con la tendencia evidenciada en los proyectos iniciados recientemente.

Figura 1–3 Curva probabilística acero de refuerzo



El valor medio de la curva de probabilidad es de 1.94 USD-Kg con una desviación de 0.38 USD-Kg, valores superiores a los 1.42 USD-Kg empleados en el presupuesto de CL1, esto implicaría un sobre costos del orden del 41%, equivalente a un 6,1% del total del proyecto, evaluado el precio del acero con un valor de 2,0 USD-Kg.

La dinámica del acero en Colombia corresponde a un mercado que en la actualiza presenta un déficit de producción del orden de 40%, lo que implica necesariamente la importación del producto de países como México, China, Japón y Brasil. Esta situación puede generar en una posible escenario de disminución de costos, complementada con el levantamiento de las salvaguardias al precio del acero establecida por el gobierno nacional desde el año 2013.

1.2.3 Excavación pantallas

Para el ítem de excavación de pantallas se evaluó información de algunos proyectos en Bogotá de manera referencial teniendo en cuenta la magnitud de trabajos requeridos para el proyecto PLMB. En términos generales se pudo evidenciar un valor promedio del orden de 212 USD-m³, dentro del desarrollo de esta actividad es necesario tener presente factores como el transporte de los sobrantes de excavación a botaderos autorizados, derechos de botadero, manejo de lodos y simultaneidad de frentes, que para las cantidades requeridas la demanda de equipos considerando un rendimiento de 40m³-día exigiría al menos 50 equipos trabajando en paralelo para adelantar los trabajos en 2.3 años. Estas consideración podría implicar un aumento del orden del 21%, equivalente a 1.1% del total del proyecto.

1.2.4 Excavación tuneladora

Para el caso de la excavación con TBM y el respectivo revestimiento con dovelas en concreto, si bien los costos está dentro del rango de costos referenciales de 24.300 a 27.500 USD/m, el impacto del costo del concreto de las dovelas podría incrementar el costo de esta obra en al menos 4%.

1.2.5 Material rodante

Para este componente que representa un 10% del total del proyecto se aprecia que las fuentes adoptadas para la valoración de costos están acordes con las condiciones del proyecto tal y como se expresa en el capítulo de “Material móvil, operación y mantenimiento ferroviario, patio y talleres y cochera”, donde adicionalmente se trata el tema del mercado asiático, condición que puede generar una opción técnica aceptable, con un beneficio económico del orden del 10 al 14%.

1.2.6 Precios referenciales de proyectos de líneas de metro

A continuación se presenta información referencial de proyectos del metro desarrollados recientemente en Latinoamérica con la simple finalidad de evidenciar un orden de magnitud general, sin un detalle mayor de precisión sobre las consideraciones particulares técnicas, sociales logísticas, predial entre otras presentadas en cada proyecto. La información corresponde a recopilaciones consultadas en fuentes de internet que si bien pueden presentar algún sesgo dan órdenes de magnitud para una comparación preliminar.

La línea 12 del metro de México se contrató por cerca de 921 millones USD, y se ejecutó por cerca de 1356 millones USD más los sobrecostos por los problemas presentados en las estaciones y el material rodante. La línea tiene una longitud de 26 km y 19 estaciones conformada por 2,8 km superficial, 12,1 km viaducto, 2,8 km cajón subterráneo y 6,8 en túnel. Lo que equivaldría a un costo de 52 millones USD por km de línea incluidas las estaciones, sin contemplar el material rodante que tiene un costo del orden de 864 millones USD y 724 millones USD para el mantenimiento y servicio por 15 años incluido los costos de financiación. (Elfinanciero.com.mx, 2015). Con los costos de material rodante se tendría un costo del orden de 87 millones USD por km.

La línea 4 del metro de Sao Pablo tiene una longitud total de 16,3 km, conformada por 12,8 km en túnel, 3,5 km en superficie y 11 estaciones, con un costo inicial de 2707 millones de dólares, equivalente a un costo de 166 millones USD por km, (ccb.org.co, 2014). El suministro de material rodante, sistema de control y señalización requirió una inversión de 450 millones de USD y la operación y mantenimiento se adelantó por medio de una APP con una inversión a 30 años de 1750 millones, (Proinversion.gob.pe/).

Tabla 1–7 Cuadro resumen de características de líneas de metro ejecutadas recientemente en Latinoamérica

Proyecto	Costo (M USD)				Longitud (Km)	Estaciones (Un)	Costo obra USD/Km	Costo con material rodante USD/Km	Observación
	Total	Obra civil	Material Rodante	Mantenimiento					
Línea 12 del metro de México		1356	864	724 (15 años)	24,5	19	55,35	90,61	2,8 km superficial, 12,1 km viaducto, 2,8 km cajón subterráneo y 6,8 en túnel.
Línea 4 del metro de Sao Pablo		2707	450	1750 (30 años)	16,3	11	166,07	193,68	12,8 km en túnel, 3,5 km en superficie y 11 estaciones.




Proyecto	Costo (M USD)				Longitud (Km)	Estaciones (Un)	Costo obra USD/Km	Costo con material rodante USD/Km	Observación
	Total	Obra civil	Material Rodante	Mantenimiento					
Primera línea Metro San Juan de Puerto Rico	700				17,2	16		40,70	Superficial en su mayoría.
Primera línea Metro Quito	1500				22	15		68,18	Subterráneo.
Panamá	2100				13,7	12		153,28	Subterráneo y superficial.

Nota: Información presentada como indicativa, obtenida de diferentes fuentes secundarias, lo que puede originar discrepancias con los datos finales de cada proyecto.

1.2.7 Condiciones de producción concretos y cemento

Como información complementaria y en razón de comparar la demanda de concreto y cemento del proyecto respecto a la oferta de los mismos, se presenta la siguiente información referencial de la empresa Argos, la cual cuenta con una participación del mercado colombiano del 50% y una de las principales cementeras del sur de EEUU y el Caribe toda la región, (Argos.com, 2012).

Figura 1–4 Empresas productoras de cemento en Colombia - Distribución del mercado

Compañía	Capacidad Instalada (mm TPA)	Part. Capacidad Instalada	Producción (mm TM)	Market Share
 ARGOS	10.0	60%	5.1*	50%
 CEMEX	4.2	25%	n.a	n.a
 Holcim	2.1	13%	n.a	n.a
• Other	0.3	2%	n.a	n.a
TOTAL	16.6	100%	9.0	100%

* Información 2011
No incluye exportaciones por 1.4 millones de toneladas por año

Fuente: Presentación cementos argos

De la información se evidencia que tanto la capacidad instalada de plantas de cemento, 10 millones de toneladas por año (TPA), como su producción 5.1 millones TPA, puede cubrir la demanda de al menos 1.4 millones TPA requerido para los ítems principales. Adicionalmente, Cemex tiene previsto ampliar su producción en más de 1 millo TPA con lo que tendría una capacidad de producción del orden de los 5,5 millones TPA, (Cemexcolombia.com, 2014), con lo que busca cubrir futuras demandas asociadas a la nueva generación de concesiones viales y otros proyectos de infraestructura.

Por otra parte en el caso de los concretos, la capacidad instalada de Argos corresponde a 3.5 millones de m³-año correspondiente a la misma cantidad que demandaría el proyecto solo para los ítems representativos (sin contar obras de urbanismo, reubicación de redes y demás obras que

demanda concreto), lo que equivaldría a una demanda del 33% de la totalidad de la capacidad instalada durante un periodo de tres años, lo que supondría la necesidad de incrementar la capacidad instalada para suplir adecuadamente dicha demanda no solo por Argos sino por las demás cementeras.

1.2.8 Impacto general

En la siguiente tabla se presenta los resultados de la comparación de costos del presupuesto con precios referenciales de proyectos:

Tabla 1–8 Comparativo precios presupuesto CL1 vs. Precios referenciales

Ítem	Un.	Cantidad	Costo Unitario CL1 (COP)	Costo Unitario CL1 (USD)	Costo Referencial (USD)*	% Incremento respecto a los costos directos
Concretos	m ³	3.485.167	\$ 437.300	\$ 219	\$ 300	5,7%
Aceros	t	470.455	\$ 2.837	\$ 1,42	\$ 2,00	6,1%
Excavación pantallas	m ³	1.647.079	\$ 348.155	\$ 174	\$ 212	1,1%
Excavación Tuneladora	m	12.093	\$ 39.968.543	\$ 20.005	24.300 - 27.500	
Dovelas	m	12.093	\$ 11.565.624	\$ 5.789		
					Total	13,0%

En total para los ítems representativos el costo total del proyecto podría incrementarse del orden del 13,0% antes de AIU. Si bien el orden de magnitud de los trabajos es bien importante y podría redundar en beneficios por economías de escala, los oligopolios presentes en el tema de concretos y cementos puede ver afectados dichos márgenes debido a la fuerte demanda que se genere y a la poca oferta, generando por el contrario un aumento en de los precios, que a su vez podría afectar otros sectores de la construcción.

1.3 COSTOS INDIRECTOS - ADMINISTRACIÓN, IMPREVISTOS Y UTILIDAD

Como complemento al análisis de ítems pareto de los costos directos se tienen el componente correspondiente a los costos indirectos relacionados en el caso de los contratos por precios unitarios a la administración, imprevistos y utilidad, en adelante AIU, costos que están en función de los trabajos a realizar y el plazo de ejecución.

Cada uno de los componentes del AIU se detalla a continuación:

- Administración (A)

Corresponde a los costos para atender conceptos como oficinas, campamentos, impuestos, garantías, personal, servicios para construcción y gastos operacionales.

- Imprevistos (I)

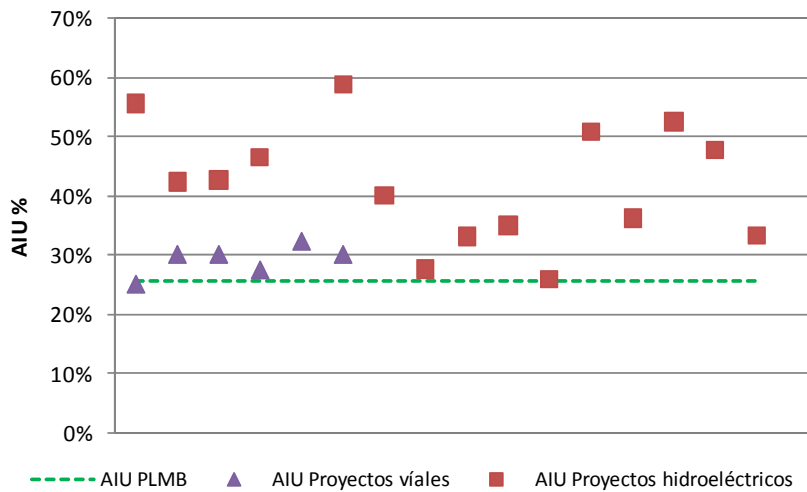
Todo proyecto conlleva una serie de incertidumbres y riesgos que necesariamente son valorados y transferidos a los costos de construcción.

- Utilidad (U)

Beneficio económico esperado por el contratista constructor al desarrollar las obras.

Para la comparación del AIU estimado para el Proyecto Básico Avanzado se analizó una muestra de valores de AIU correspondiente a proyectos referenciales, con la finalidad de establecer un rango de variación e identificar factores que puedan incidir de forma positiva o negativa en los costos del proyecto.

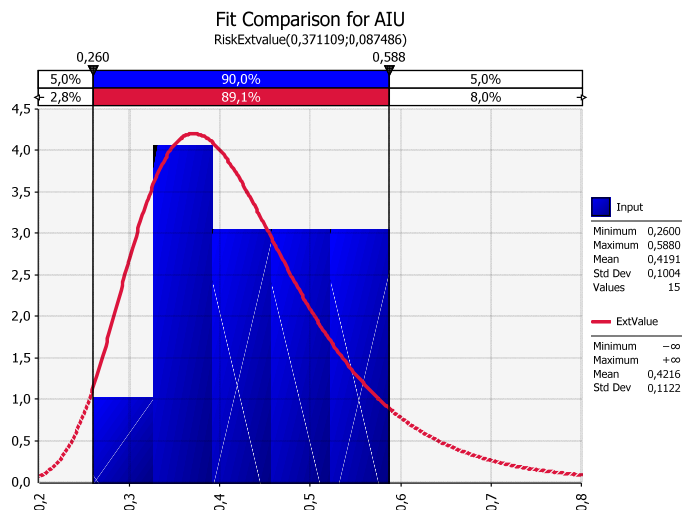
Figura 1–5 Porcentajes de administración, imprevistos y utilidad (AIU) referenciales



En la gráfica anterior se aprecia que los valores de AIU para los proyectos viales referenciales están dentro de un rango del 27 al 30% e incluyen un porcentaje de imprevistos del orden del 1 al 5%.

En la siguiente figura se presenta la curva de probabilidad para los datos de proyecto hidroeléctricos donde el valor medio corresponde a un valor de 41.91% con una desviación estándar de 10%. Los valores con mayor frecuencia se localizan sobre el rango de 35 a 40%, valore por encima de los proyectos viales que tiene un valor medio de 29.1%.

Figura 1–6 Curva probabilidad AIU



En general los valores de costos indirectos estimados como porcentajes de los costos directos respecto a los valores estimados por CL1 de 25,5% compuesto por 22,5% de administración, 3% de utilidad y 0% de imprevistos, es inferior al promedio de 29,1%. De la condición anterior se resalta el exclusión de un porcentaje para imprevistos, que necesariamente y dependiendo del tipo de contratación se presenta una serie de incertidumbres y riesgos que son valorados y transferidos a los costos del proyecto, por lo tanto debería incluirse en la valoración de costos un porcentaje por este concepto.

Con lo anterior y sin contar con un programa de construcción detallado de los trabajos, los costos del proyecto correspondiente a la obra civil se podrían incrementar del orden de 1 a 2%.

Dentro de la valoración y aplicación del AIU a los costos directos es importante resaltar la aplicación de dicho porcentaje a las actividades con un componente importante en la estructura de costos el suministro de equipos importados, como es el caso del material rodante, esto en razón que estos rubros no corresponde a un servicio, sino a un suministro que tiene un pequeño componente de servicio correspondiente a los trabajos de montaje.

Dentro de las consultas realizadas a CL1 y lo indicado en el taller de Ingeniería de Valor se manifestó que los costos presentados como costos directos para los bienes importados contenían implícitamente el manejo de este concepto.

Estas condiciones podrían aplicarse para todos los equipos y suministros importados que representen un porcentaje importante del ítem final de pago, como por ejemplo todos los sistemas de control y comunicación, que representan cerca del 9% del total del contrato y podría significar una reducción del costo entre el 10 y 15%.

1.4 RENDIMIENTOS

Para los ítems representativos se realizó una valoración de los rendimientos de la maquinaria presentada en los análisis de precios unitarios. En la tabla siguiente se presenta el consolidado de los principales rendimientos:

Se resalta que hay ítems que no presentan una desagregación de maquinaria lo cual no permite evaluar las condiciones de los rendimientos, entre esta ítems esta la fabricación de concreto, excavación con tuneladora y excavación a corte abierto.

Tabla 1–9 Comparativo rendimientos maquinaria ítems representativos

Ítem	Equipo	Unidad	Periodo rendimiento			
			CL1		Construdata	Información Referencial
			Hora	Día	Día	Día
Excavación Pantalla	Maquinaria para excavación	Hr-m3	0,82	11,0		35 - 40
Excavación entre pantallas	Cargador	m3	0,22	40,9		
	Excavadora	m3	0,22	40,9		80 - 100
Tratamiento Jet Grouting	Bomba Jet Grouting	m3	0,85	10,6		
Perforación Jet Grauting	Equipo de perforación	m	0,25	36,0		
EXCAVACION MECANICA A CIELO ABIERTO	Excavadora	m3			450	400 - 500
Excavacion material común	Excavadora	m3	0,019	473,7	450	400 - 500
Excavación en roca	Excavadora	m3	0,5	18,0		40 -60
	Martillo	m3	2	4,5		
Acero	personal	Hr-kg	0,07	128,6	180	180 - 240

1.5 PROPUESTAS RELATIVAS A LOS COSTOS

En el siguiente numeral se abordan temas concernientes a la posibilidad de reducción de costos del proyecto enmarcados dentro de la posibilidad de exención de impuestos e IVA a las obras y suministro relacionados con la primera línea del metro. En primer lugar se presentan algunos antecedentes de casos similares para proyectos de metro en Colombia y en países como Panamá, Perú y Ecuador.

En segundo lugar se tratan los beneficios por la reducción tanto de impuesto como de IVA. Si bien, estas consideraciones impactan directa y sustancialmente los costos del proyecto, su implementación y aplicabilidad dependerán en gran medida de la voluntad política e integración de los diferentes actores involucrados en el proyecto que permita tramitar ante los órganos legislativos correspondiente la exención o reducción de las cargas tributarias a las que están obligados este tipo de proyectos. Dentro de estos temas se deberá incluir las respectivas acciones de control, seguimiento y verificación.

1.5.1 Antecedentes

1.5.1.1 Colombia –Metro de Medellín

En la actualidad existe una normativa que permite tramitar la devolución del IVA por conceptos como la compra de equipos eléctricos, incluidos los trenes, procedimiento aprobado en el Artículo 424 Numeral 7 del Estatuto Tributario y reglamentado por el Decreto 2532 de 2001, Resolución 978 de 2007 y Resolución 778 de 2012.

De acuerdo con la información suministrada por los funcionarios del Metro de Medellín en el taller de Ingeniería de valor adelantado en el mes de marzo, el procedimiento para la devolución del IVA por la compra de 16 vehículos férreos tardó cerca de 2 años.

1.5.1.2 Panamá – Metro Ciudad de Panamá

Se sancionó la Ley 109 de 2013, que entre otros temas reglamentarios del sistema metro estableció en el Capítulo VII Régimen Fiscalización la exención del pago de todo tributo, cualquier tipo de impuestos, ya sean directos o indirectos, tasas, derechos, cargos, contribuciones y/o gravámenes, con excepción de las cuotas establecidas en el Código de Trabajo referente a la relación laboral con los empleados.

Los beneficios aplican para todos los contratistas, subcontratistas y/o proveedores de los mismos involucrados en el diseño, construcción y operación del metro se beneficiarán de la exoneración de:

- Impuesto de importación
- Impuesto de Transferencia de Bienes Muebles y Servicios (ITBMS), equivalente al IVA para Colombia.
- Impuesto selectivo al consumo de ciertos bienes y servicios

Se resalta la reglamentación para la creación de un ente encargado de la estructuración del régimen fiscal y su fiscalización. (Gacetas.procuraduria-admon.gob.pa, 2013)

1.5.1.3 Ecuador – Metro Quito

En el caso de Ecuador en virtud del Artículo 8 de la “Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado” el IVA será restituido al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) siempre y cuando los contratos sean suscritos por el mismo, ya que las empresas públicas no pueden aplicar para la devolución del IVA. (Metrodequito.gob.ec, 2013)

1.5.1.4 Perú – Metro Lima - Callao

Para el caso del metro de Perú se promulgó la Ley No. 28253 del 21 de mayo de 2004, la cual declaró como interés nacional y necesidad pública la ejecución del sistema eléctrico de transporte masivo de Lima y Callao y exoneró los bienes importados destinados a dicho sistema del impuesto general a las ventas (IGV), impuesto de promoción municipal, impuesto selectivo al consumo y derechos arancelarios. En cumplimiento de dicha Ley se promulgó el Decreto Supremo 031-2010-MTC el cual aprobó el listado de bienes exonerados y los mecanismos de aplicación y fiscalización. (Congreso.gob.pe, 2004).

De esta ley se resalta la aplicación solo para los bienes importados.

1.5.1.5 Brasil – Línea 4 del metro Sao Pablo

Acuerdo ICMS 94 de 2012 que autoriza a la Nación y al Distrito Federal para exonerar del Impuesto a la Circulación de Mercaderías y Servicios (ICMS), equivalente al IVA de Colombia, a las operaciones nacionales e internacionales, y las tasas diferenciales, a los bienes y mercancías destinadas a las redes de transporte público de pasajeros por ferrocarril.

Igualmente, se resalta la necesidad de crear los mecanismos de verificación y cumplimiento del destino de los bienes y servicios exonerados.

1.5.1.6 Chile Línea 3 y Línea 6

Para el material rodante el arancel corresponde al 6% y el IVA al 10%, valor superior al 16% establecido en Colombia para este tipo de bienes.

1.5.2 Exención de los impuestos del AIU

Según lo indicado en el numeral 1.3 COSTOS INDIRECTOS - ADMINISTRACIÓN, IMPREVISTOS Y UTILIDAD, adicional a los costos directos del proyecto se tienen una serie de costos indirectos necesarios para la adecuada ejecución de las obras, los cuales se estiman como un porcentaje de los costos directos. En la siguiente tabla se presenta el detalle del estimativo de costos indirectos contenidos en la información suministrada por el consorcio CL1.

Tabla 1–10 Composición del componente Administración del AIU

Descripción	Valor (M COP)
Impuestos	1.371.096
Garantías	604.868
Manejo anticipo	262
Gastos de personal	325.539
Gastos operacionales	126.259
Total Administración	2.428.024
% Administración	22,5%

El rubro correspondiente a impuestos está conformado por los siguientes impuestos, gravámenes y mecanismos de recaudo anticipado del impuesto a la renta, rete fuente.

Tabla 1–11 Impuestos contenidos en el AIU

Impuestos	% del costo del contrato	Costo (M COP)
Contribución especial	5,00%	679.433
Estampilla Universidad Distrital	1,00%	135.887
Estampilla pro cultura	0,50%	67.943
Estampilla pro personas mayores	0,50%	67.943

Impuestos	% del costo del contrato	Costo (M COP)
4 por mil	0,40%	54.355
Industria y comercio	0,69%	93.762
Retención en la fuente *	2,00%	271.773
Total Impuestos	10,09%	1.371.096

De la tabla anterior se tiene que los impuestos para el contrato representan más del 10% de los costos directos del proyecto, valor que se reduciría el costo del proyecto por concepto de exoneración de impuestos. Complementariamente, se podrían obtener beneficios adicionales por las exenciones de impuesto relacionados con la compra de predios y legalizaciones y auscultación, conceptos que suman el 6% del total del proyecto (900 mil millones COP).

En términos generales el principal beneficio de la exoneración de impuestos radica en el impacto directo en todos los costos del proyecto, 1,3 billones COP solo por el efecto sobre los costos directos. Adicionalmente, la valoración de alternativas que genere beneficio sobre los costos se verán igualmente impactadas por la exoneración de impuestos.

1.5.3 Exención IVA

Por otra parte y adicionalmente a la exoneración de los impuestos del AIU, se puede abordar la posibilidad de exoneración del IVA los suministros y servicios asociados a la construcción del metro. Dicha iniciativa deberá contar con la voluntad política necesaria para tramitar ante los organismos legislativos correspondientes. En la tabla siguiente se presenta la discriminación de los costos por divisas suministrada por el CL1 para la ingeniería básica avanzada, se resalta que no se cuenta con todos los costos detallados por divisas, de los cuales el material rodante y superestructura tienen un gran porcentaje de suministros importados. Para los demás ítems el costos de suministros importados es prácticamente nulo:

Tabla 1–12 Tabla de distribución de costos directos por divisas por obra

Descripción	Costos (Millones)			
	Total (COP)	COP	Euro	USD
Línea (1)	2.702.923	2.352.393	3,8	145,7
Estaciones	4.290.943	4.185.554	32,9	176,8
Talleres y cocheras	465.103	431.098	11,1	0,3
Comunicaciones	253.166	84.401	56,9	0,4
Puertas anden	121.514	7.046	37,3	0,2
Señalización y control de trenes	211.848	48.893	55,2	0,2
Alimentación eléctrica	272.191	163.699	36,0	0,3
Puesto central de control	85.915	30.517	19,1	1,6
Material rodante (2)	1.132.802			
Superestructura de la vía (2)	173.742			
Urbanismo y paisajismo (3)	407.716			

Descripción	Costos (Millones)			
	Total (COP)	COP	Euro	USD
Desvío de redes y recuperación (3)	252.389			
Obras de estructuras afectadas (3)	3.317			
Estudios y diseños (3)	211.497			
Desvío de tráfico (3)	124.820			
Total	10.709.887	7.303.600	252,3	325,5

Notas:

(1) Se presenta una diferencia de 76 mil millones COP menos respecto a la matriz presupuestal.

(1) Sin información detallada de los costos por divisas.

(2) Sin información detallada de los costos por divisas, impacto nulo en suministros importados.

El primer componente al que la exoneración del impuesto del IVA impacta son todos los suministros importados y que tiene un peso importante en los costos del proyecto, se destacan los siguientes insumos: material rodante, perfiles de acero para el carril, maquinas tuneladoras (TBM), maquinaria pesada para construcción, equipos para los sistemas de control y comunicación, entre otros. En la tabla siguiente se indican los beneficios para los suministros importados de mayor cuantía:

Tabla 1–13 Beneficios por la exoneración impuesto IVA suministros importados

Concepto	IVA (M COP)	IVA (M USD)
TBM	26.605	13,30
Superestructura	5.686	2,84
Material rodante	104.166	52,08
Sistemas control y comunicación	84.170	42,09
Línea	48.349	24,17
Estaciones	14.536	7,27
Talleres y cocheras	4.690	2,35
Subtotal	288.202	144,10
% reducción respecto a costos directos sin AIU	2,7%	
% reducción respecto a costos total	1,9%	

Por otra parte, de incluirse en la legislación como se ha establecido en países vecinos, los suministros nacionales también se han beneficiado de la exoneración de IVA, lo que representaría otra disminución importante en los costos. Igualmente, se puede dentro de estos conceptos se incluye la exención del IVA sobre la utilidad del contratista. En la siguiente tabla se presenta el impacto sobre los ítems representativos del presupuesto:

Tabla 1–14 Beneficios por la exoneración impuesto IVA suministros nacionales (ítems representativos)

Concepto	IVA (M COP)	IVA (M COP)
Concreto	175.626	87,81
Acero de refuerzo	113.299	56,65
Cemento para Jet Grouting	50.204	25.10
Total	339,129	169,56
% respecto a costos directos sin AIU	3,1%	
% reducción respecto a costos total	2,2%	

Adicionalmente, se impactaría el costo por la exoneración del IVA para la utilidad del contratista en el caso de la utilización del sistema de contratación por precios unitarios y empleo del factor AIU. En la tabla siguiente se presenta la posible reducción:

Tabla 1–15 Beneficios por la exoneración impuesto IVA utilidad contratista

Concepto	IVA (M COP)	IVA (M USD)
IVA sobre utilidad contrato	51.775	25,89
% respecto a costos directos sin AIU	0,5%	
% respecto a costos total	0,3%	

En total por exoneración de IVA para suministros importados, suministros nacionales (considerando solo los ítems representativos como concreto y acero) y utilidad del contratista constructor, se puede obtener un valor del orden de 679 mil millones COP, equivalentes al 4.5% del presupuesto total del proyecto.

1.5.4 Mercado asiático

El impacto de la evaluación del mercado asiático se presenta en el capítulo de “Material móvil, operación y mantenimiento ferroviario, patio y talleres y cochera”.

En relación al mercado asiático es importante resaltar que si bien se existe la probabilidad de obtener mejores precios, se requiere precisar desde las especificaciones técnicas y las características técnicas garantizadas los requerimientos acordes con el proyecto y expectativas de servicio de manera que se eviten contratiempos contractuales por calidad de los equipos y cumplimiento de los plazos, además, permita comparar en igualdad de condiciones las posibles ofertas de suministro que se presenten al momento de contratar los trabajos.

Por otra parte, la participación de empresas asiáticas hace parte de todo proceso de libre competencia, mecanismo generador de beneficios económicos y tecnológicos, evitando sesgar el proceso hacia un determinado fabricante o zona de origen. Esta competencia y posible ahorro en costos debe hacer parte del análisis de sensibilidad del presupuesto del proyecto y no como costo preestablecido de estimación del presupuesto lo que puede generar menor flexibilidad en el estudio por el incrementando de los costos si las condiciones iniciales previstas no se presentan.

1.5.5 Alternativas adicionales evaluadas

A continuación se presentan algunas de las alternativas evaluadas para la reducción de costos, que si bien por las condiciones actuales de precios y condiciones técnicas y restricciones hacen poco probable su aplicación, se presentan como referencia de análisis.

1.5.5.1 Transporte terrestre suministros importados

Para los ítems que en gran porcentaje incluyen suministros de origen extranjero se evaluó la incidencia del componente relacionado con el transporte nacional, es decir, el transporte desde puerto de desembarque hasta el sitio de las obras (Bogotá). En la tabla siguiente se presentan los costos de transporte asociados a los ítems Pareto del proyecto identificados en los numerales previos.

Tabla 1–16 Costos transporte ítems con componente importado

Transporte	Precio total (M COP)	Precio unitario (COP)	Precio Transporte (COP)	% de los costos directos	% del costo	% transporte respecto al total del contrato
Excavación TBM	\$ 483.343	\$ 39.968.543	\$ 436.620	4,48%	1,09%	0,049%
Material rodante	\$ 1.132.802		\$ 27.138	10,50%	2,40%	0,252%
Carril	\$ 46.596		\$ 982	0,43%	2,11%	0,009%
Sistemas control y comunicación (1)	\$ 610.234		\$ 18.307	0,43%	3,00%	0,013%
Total						0,323%
Total costos (M COP)						\$ 34.798

De la información anterior se aprecia que este costo solo representa el 0.3% de los costos directos del proyecto (sin AIU). Si bien, el analizar alternativas de optimización puede representar una disminución en los costos estas no sería significativa para en relación con la magnitud de los costos totales del proyecto. La variación del costo de transporte estaría dentro de los rangos de sensibilidad de precios de un estimativo de costos de este nivel y propios de análisis y riesgo que pueda asumir el contratista constructor. Como simple referencia, la disminución de un 25% del costo del transporte representaría para el proyecto un ahorro de 8.700 millones COP, equivalente al 0,08% de los costos directos o 0.06% del costo total del proyecto.

1.5.5.2 Utilización vías férreas dentro de Bogotá

El sistema férreo que atraviesa la ciudad de Bogotá está a cargo de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) quien es la responsable de la operación y mantenimiento para lo cual en la actualidad tiene contratada la administración tramo comprendido entre Facatativá - Bogotá - Belencito, contrato que termina a finales del presente año. En la actualidad la ANI se encuentra en etapa de estructuración de los corredores para el mantenimiento y explotación comercial a través de Asociaciones Público Privadas (APP) de acuerdo con la estrategia del Gobierno Nacional de rehabilitar el sistema de transporte férreo.

Bajo este panorama la posibilidad de utilizar el sistema férreo que atraviesa la ciudad requeriría, en primera instancia la coordinación con la ANI y los procesos de APP que se están estructurando, lo que limitaría la utilización del corredor en un plazo corto. En segundo lugar, las inversiones requeridas para la adecuada transferencia de carga entre los distintos sistemas de transporte serían a través del contrato de la línea del metro.

Según información del Ministerio de transporte el costo de movilización de carga por modo férreo es de \$78/Ton/Km y por carretera es de \$92/Ton/Km (Portalterritorial.gov.co, 2013), es decir un 15% menos. Esta diferencia, para los volúmenes que podrían movilizarse para el caso del material proveniente de excavación y con una distancia de 10 km en promedio de transporte daría una diferencia del orden de 2.000 millones COP, sin descontar el costo de las inversiones necesarias para la adecuación de los centros de transferencia de carga particulares para el proyecto.

Adicionalmente, es necesario tener presente la pérdida de flexibilidad y el incremento en logística por la prestación del servicio por un tercero que necesariamente busca atender operaciones de mayor frecuencia y volumen de carga.

Una condición favorable para los costos del proyecto es la rehabilitación que se adelanta del corredor de Bogotá – Belencito, esto en virtud que uno de los mayores usos en los últimos años es el transporte de Cemento, lo que podría generar un escenario favorable para el suministro de dicho insumo. Por lo anterior será de gran importancia la gestión a adelantar para propiciar las mejores condiciones y la operatividad de la línea.

1.5.5.3 Utilización de agua de otras fuentes

Si bien no existe una discriminación de la cantidad de agua requerida para la elaboración de concretos y procesos complementarios como excavación de pantallas, se evaluó la posibilidad de obtener el agua de fuentes adicionales a las del acueducto de Bogotá.

La posibilidad de utilización de agua de fuentes como pozos y directamente del río Bogotá implica adelantar los respectivos trámites para la obtención licencias y permisos ante los entes gubernamentales correspondientes (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA y/o Corporación Autónoma Regional - CAR) los cuales implican unos costos correspondientes y sobre todo unos plazos perentorios que en la mayoría de casos no se ajustan a los establecidos.

Por otra parte, la calidad del agua del río Bogotá requiere de tratamientos para garantizar el uso en la elaboración de concretos de acuerdo con lo establecido en la norma NSR-10 la cual recomienda la utilización de aguas sin impurezas excesivas debido a que pueden afectar el tiempo de fraguado, la manejabilidad, la resistencia del concreto, la estabilidad volumétrica y provocar corrosión en el refuerzo. Debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

El tratamiento y disposición final de los residuos de los mismos requiere la interacción con diferentes actores que pueden repercutir en demoras y sobrecostos.

Adicionalmente, con el fallo del Consejo de Estado, emitido el 28 de marzo del 2014 donde se establecen disposiciones para la recuperación del río Bogotá, se incluyen conceptos como el cambio de parámetros de instrumentos económicos como tasas retributivas, compensatorias y de utilización de aguas.

Como se indicó no existe un detalle de la cantidad de agua requerida ni el origen de la misma, por lo que se infiere que todos los costos están asociados al suministro de manera global del concreto por parte de una empresa especializada, la cual ha de tener todo su proceso debidamente

licenciado y reglamentado, lo que reduce costos y tramites. Esta situación está estrechamente ligada al hecho anteriormente comentado de la disponibilidad de agregados, mercado dominado por tres empresas en el país.

A manera indicativa el costo del agua en la elaboración de concreto no representa 1% del precio de fabricación del m³ de concreto, equivalente al 0.1% del total del proyecto, tomando la tarifa del m³ de agua para un consumo industrial del Acueducto de Bogotá, por lo tanto una reducción en costos por la fuente de obtención del agua no representan un ahorro significativo y por el contrario se puede convertir un una fuente de riesgo por demoras y costos de producción, con probabilidades de ocurrencia alta.