ANADIE
Alianzas Público Privadas

“Sistema del transporte público masivo del eje oriente – occidente del área metropolitana de Guatemala STPM”



Contenido

INFORME EJECUTIVO 3

Resultados estudios de prefactibilidad “Sistema del transporte público masivo del eje oriente – occidente del área metropolitana de Guatemala STPM” 3

Estructura del informe 6

FASE 1. DIAGNÓSTICO Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE 8

DIAGNÓSTICO DE MOVILIDAD 8

ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE 13

FASE 2. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO DEL CORREDOR EJE ORIENTE – OCCIDENTE 14

ESTUDIO DE DEMANDA PROYECTADA 14

ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL TRAZADO 15

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA 17

ESTUDIO TÉCNICO: DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA (A NIVEL PREFACTIBILIDAD) 19

EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA 24

ESTUDIO FINANCIERO 25

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 27

INFORME EJECUTIVO

Resultados estudios de prefactibilidad "Sistema del transporte público masivo del eje oriente – occidente del área metropolitana de Guatemala STPM"

La ciudad de Guatemala y su área metropolitana (AMG) representan un nodo económico, comercial, social y cultural, no solo en el país, sino en la región centroamericana. Este centro económico, al igual que otros similares en la región, ha experimentado un alto crecimiento de población, motorización y otros indicadores, principalmente impulsado por las altas tasas de crecimiento económico (3.46% PIB promedio en los últimos 5 años), lo cual se ve reflejado a su vez en el incremento del parque vehicular privado del AMG. Derivado de lo anterior y con el objetivo de hacer frente a los retos y oportunidades de movilidad del AMG, la ANADIE, en conjunto con las municipalidades de Guatemala y Mixco impulsaron el estudio de prefactibilidad del *"Sistema de Transporte Público Masivo del Eje Oriente – Occidente del Área Metropolitana de Guatemala"*.

El presente estudio determina a nivel de prefactibilidad o pre-inversión la viabilidad técnica, jurídica y económica de implementar un sistema de transporte público masivo, que permita articular las necesidades de movilidad, integración urbana y desarrollo económico a lo largo del Eje Oriente-Occidente del AMG. Asimismo, el estudio propone una articulación integral del sistema propuesto con las dinámicas de movilidad actuales y futuras, con la oferta de transporte existente y la planificada en los próximos años, así como con los planes de desarrollo urbano proyectados.

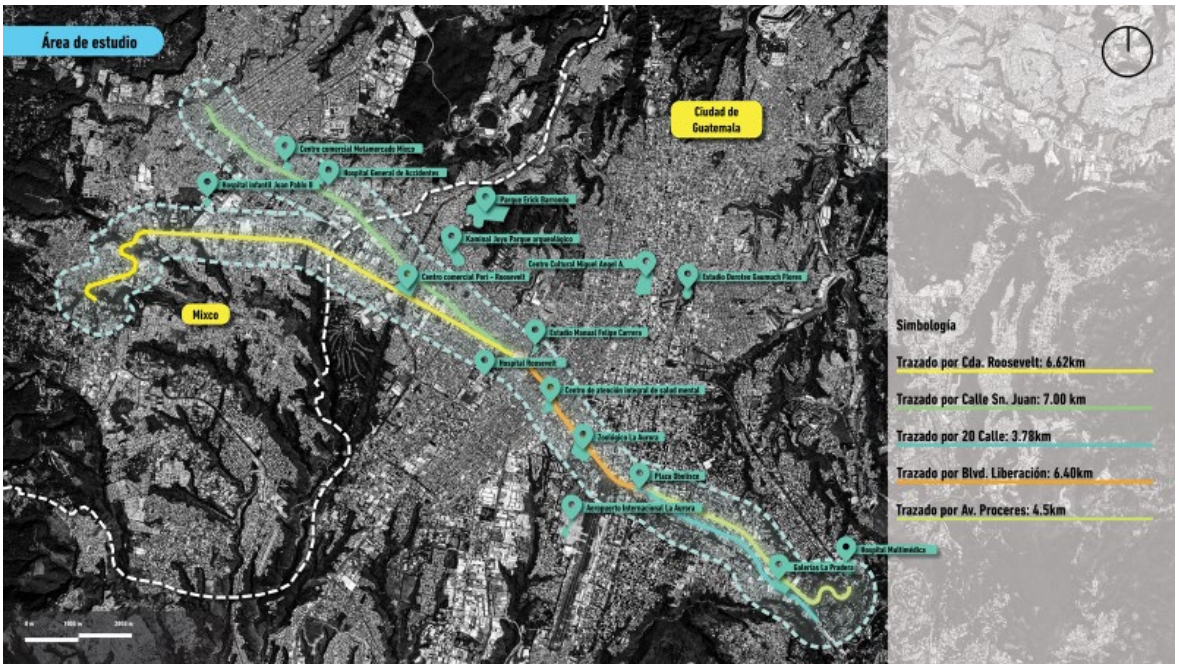
Durante la fase de diagnóstico y actualización del modelo de transporte se encontró, entre otros factores, que la AMG para el año 2020 (situación prepandemia) una oferta de 3,030 autobuses. Se identificó a su vez, que los principales sistemas de transporte que prestan servicio en el AMG son el Transmetro, Transurbano, Express, TransMio. Las flotas que más pasajeros mueven en el AMG son los buses articulados (Transmetro), seguidos de los buses extraurbanos y los buses Express Mixco. De la misma manera, la campaña de campo permitió definir el periodo de máxima demanda para el AMG, este se identificó entre las 6PM y las 8AM, dependiendo de la zona de la ciudad y el pico vespertino entre 6PM y 7PM en la mayoría de los puntos estudiados.

La revisión y calibración del modelo de demanda base de 2016 junto con las observaciones reportadas en campo en el 2020 permitieron actualizar el modelo de transporte en volúmenes de viajes tanto para transporte público como transporte privado. La actualización del modelo también consideró ajustes en la caracterización de la demanda por potenciales sesgos derivados por el impacto en patrones de viaje por la COVID-19. El ajuste a estas observaciones se llevó a cabo a través de análisis de viajes O-D para años previos a la pandemia a través del uso de información de BigData. El uso de esta información permitió identificar factores de ajuste que eliminaran o redujeran cualquier sesgo identificado.

A partir de la caracterización y ajustes de la demanda observada y de la actualización del modelo de transporte, se determinó la demanda proyectada del sistema en los escenarios base o escenario sin proyecto y cuatro escenarios adicionales. De igual forma, a partir de los escenarios definidos, se identificó el trazo o eje óptimo para el sistema propuesto.

La selección del corredor además de la demanda identificada consideró una serie de variables ponderadas tanto cuantitativas como cualitativas. Estas variables se a través de un ranking o análisis multicriterio que permitiera identificar el mejor corredor según calificación o ranking obtenido.

A partir de este análisis, el corredor mejor calificado fue el corredor San Juan–Liberación– Próceres. Dicho corredor, representa entonces el mejor balance entre aspectos cuantitativos y cualitativo análisis y evaluados para la selección del corredor del sistema. La demanda estimada para dicho corredor asciende a aproximadamente 327,000 pasajeros por día típico para el año base del estudio (2020 prepandemia).



Asimismo, se analizaron los diferentes tipos de tecnología de transporte público masivo disponible, tomando en cuenta criterios funcionales, operacionales y estructurales dada la demanda observada y esperada en el corredor seleccionado. Se estudiaron varios tipos de tecnologías de transporte. De igual forma y a través de un análisis multicriterio se identificó que la mejor tecnología que mejor se ajustaba a las necesidades técnicas, demanda, operación entre otras es la de BRT; de acuerdo a la siguiente tabla:

Tecnología	CAPEX MUSD/km	PPHDM	PPHDM Del tramo en 2025	Cumple Demanda
Metro Pesado	$60-100 (1,400 MUSD**)	20-60K	10.637K	NO
Metro Ligero (LRT)	$20-40 (840 MUSD**)	5-15K	10.637K	SI
Tranvía	$20-30 (420 MUSD)	1-4K	10.637K	NO
Tram-Train	$25-40 (560 MUSD)	5-15K	10.637K	NO*
BRT	$10-20 (210 MUSD**)	6-30K	10.637K	SI
Trolebús	$1-7 (98 MUSD)	0.5-8K	10.637K	NO
Teleférico	$15-20 (210 MUSD)	1-5.5K	10.637K	NO

Una vez seleccionado el corredor San Juan –Liberación – Próceres, así como la tecnología BRT, se desarrolló un levantamiento topográfico y ortofotogramétrico, con el objetivo de identificar las características físicas del corredor y analizar la viabilidad de desarrollo de infraestructura de transporte en este trazo.

Se definieron también los aspectos técnicos del sistema, identificando aquellas infraestructuras, visibles o no visibles que puedan tener un impacto, directo o indirecto, a lo largo del trazado seleccionado, y se establecieron los criterios de diseño que definen la apropiada inserción del sistema propuesto en el Eje Oriente-Occidente en el contexto urbano metropolitano.

Como parte de este estudio, se realizó también un estudio predial, el cual incluye un diagnóstico y análisis jurídico de las propiedades y su entorno demográfico que se encuentran dentro del área directa del proyecto. El estudio predial informó con relación a aquellas propiedades, particularmente privadas, que podrán ser impactadas por el trazo y del proyecto y por tanto analizar su viabilidad de adquisición para asegurar el derecho de vía del proyecto.

El STPM San Juan -Liberación-Próceres con una longitud aproximada de 14 km y tecnología BRT se presenta como una propuesta integradora que apoyará la visión de movilidad sostenible en el AMG.

La tarifa estimada del proyecto, sin subsidio, es de Q4.00 por viaje sencillo. De igual forma, para la operación del sistema se requerirá una flota de arranque de 71 autobuses biarticulados (incluyendo reservas para el año 2026), despliegue o sembrado de 22 estaciones a nivel y 1 estación elevada, 1 patio/taller, que albergue el resguardo de las unidades y centro de control/gestión del sistema, y que además sirva de punto o zona de transferencia modal, al igual que la terminal de retorno al final de la línea de sistema. Fielmente, la inversión de capital del proyecto (CAPEX) se estima en unos $333 millones de dólares americanos y unos USD15 millones/anuales por concepto de operaciones y mantenimiento (OPEX).

Finalmente, se realizó una evaluación financiera para determinar el caso de negocio del proyecto.

Con base en los resultados se concluye que el Proyecto es financieramente viable mediante una asociación público-privada (APP) basada en ingresos, con un subsidio parcial del Estado durante los primeros años de operación del proyecto. Este subsidio tarifario es necesario para "cerrar" el modelo financiero con una tasa interna de retorno del proyecto del 16% y va de la mano con un periodo de adaptación de la demanda, la cual se estabiliza y llega a su máximo esperado en los primeros 3 años de concesión.

Estructura del informe

El presente informe sigue una estructura resumen que considera la estructura básica de las bases de licitación o términos de referencia del proyecto, la que se resume a continuación.

Fase 1. Diagnóstico y actualización del modelo de transporte.

Diagnóstico de movilidad.

El diagnóstico considera toda la revisión de información histórica y caracterización de indicadores de movilidad (levantamientos de campo; oferta y demanda) en el ámbito del eje del proyecto. Esta tarea también consideró la caracterización de patrones de movilidad en el AMG a través del uso de BigData la cual se utilizó para identificar factores de ajuste por sesgo en patrones de movilidad derivados de la pandemia por COVID-19.

El análisis también incluyó un análisis legal institucional y un análisis geoespacial en el ámbito del eje del proyecto. Finalmente, en esta tarea también se incluyó el desarrollo de un plan estratégico de movilidad sostenible con enfoque en el ámbito del proyecto. El plan recoge los principales resultados del diagnóstico con una serie de recomendaciones, a nivel de metas y objetivos, orientados a buscar una movilidad sostenible en el ámbito del proyecto y en el AMG.

Actualización del modelo de transporte.

A partir de la información de caracterización de la demanda, su ajuste por factor COVID-19 según el caso y la revisión del modelo base, se actualizó el modelo de demanda base realizado para el Metro Riel. Lo anterior con el fin de que este reflejara, a través de una calibración específica, las condiciones actuales de oferta y demanda en el ámbito de estudio del proyecto.

El modelo de transporte actualizado se utilizó para determinar el eje óptimo o trazado del proyecto, así como la proyección de la demanda de acuerdo con el horizonte de análisis identificado para el proyecto.

Fase 2. Estudio de prefactibilidad del sistema integrado de transporte masivo del corredor eje oriente – occidente.

Estudio de demanda proyectada.

En el estudio de demanda proyectada, se identificó la demanda del año de la situación actual, así como la demanda del año base para cuatro escenarios. Asimismo, el estudio que considera las tasas de crecimiento de la demanda, tanto de transporte público como privado. El estudio considera aquellos proyectos, públicos y privados, que posiblemente se desarrollen y se pongan en marcha en el AMG durante el horizonte de análisis del proyecto (30 años).

Análisis y determinación del trazado.

A partir del análisis de demanda identificada para cada escenario, en conjunto con análisis físicos de los corredores evaluados, se generó un análisis multicriterio para la selección del corredor del proyecto a partir del análisis de variables cualitativas y cuantitativas para ambos corredores de estudio.

Análisis y selección de tecnología.

La selección de tecnología o material rodante partió de un análisis multicriterio. El análisis consideró entre otras variables, la demanda máxima por sección en términos de pasajeros por hora por dirección, el CAPEX paramétrico por tipo de tecnología, la relación paramétrica costo-beneficio, la capacidad institucional entre otras variables.

Estudio técnico: diseño conceptual de la alternativa seleccionada (a nivel prefactibilidad).

El estudio técnico consideró para su desarrollo el trazado del proyecto identificado en las tareas anteriores. A partir del eje del proyecto identificado, se procedió con la elaboración de estudio de topografía, hidrología y geología con el objetivo de identificar la viabilidad técnica para el desarrollo del proyecto.

La tarea incluyó, además, análisis operacional del en el eje del proyecto, según tecnología seleccionada, análisis de integración urbana por estación y tramo, identificación de patios y talleres y aspectos técnicos del sistema propuesto desde la óptica de proyecto conceptual, análisis de riesgos, además de la identificación de los costos capital (CAPEX) y costos de mantenimiento y operación (OPEX) del proyecto.

Estudio predial.

El estudio predial considera el análisis jurídico-legal de predios con potencial afectación por el impacto del derecho de vía del proyecto. En este se identifica además el costo paramétrico del valor comercial por predio afectado, así como el costo o inversión total necesaria por concepto de adquisición de predios a lo largo del eje del proyecto.

Evaluación socioeconómica.

La evaluación socioeconómica, es el análisis que considera los beneficios y costos asociados a la implementación del proyecto. Se presentan indicadores de costo-beneficio que puede generar el proyecto para la población o usuarios beneficiarios del proyecto.

Estudio financiero.

El análisis financiero presenta la rentabilidad del proyecto a lo largo del periodo de concesión y/o explotación del eje del proyecto. El estudio presenta los resultados financieros derivados de las hipótesis formuladas sobre la potencial demanda, la capacidad de generar ingresos, los gastos de capital o inversión (CAPEX), los gastos de operación (OPEX), además de las condiciones de viabilidad de financiación del proyecto.

Conclusiones y recomendaciones.

Se presentan las conclusiones y recomendaciones generales identificadas a lo largo del estudio. Se presenta además como anexo al documento, una propuesta de términos de referencia para el estudio de factibilidad del proyecto.

FASE 1. DIAGNÓSTICO Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE

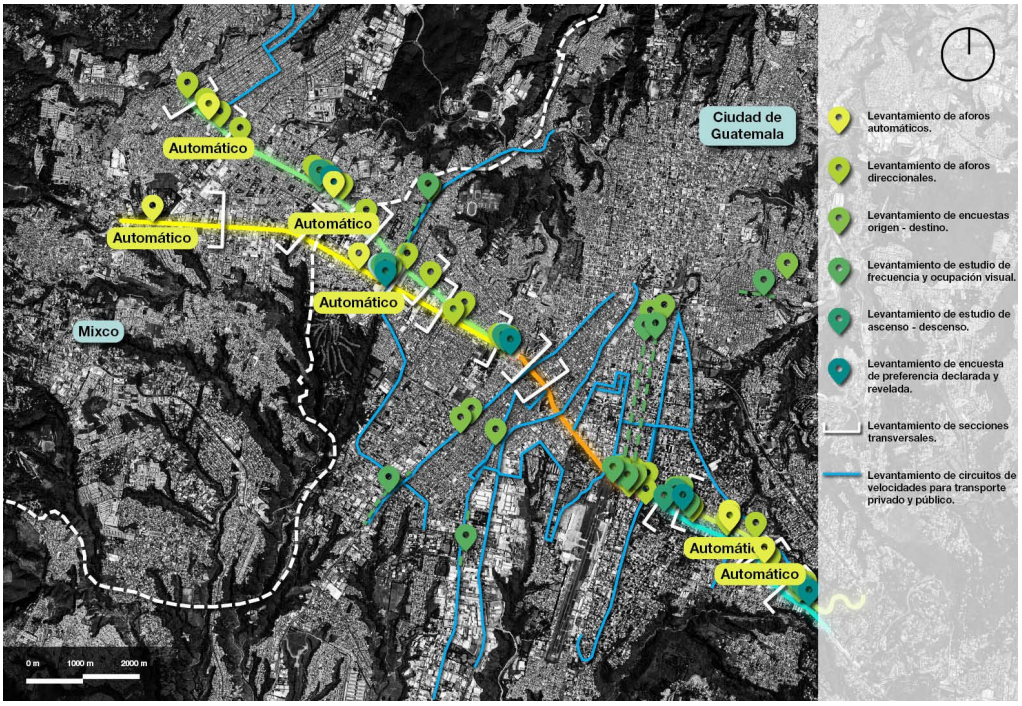
DIAGNÓSTICO DE MOVILIDAD

Análisis de información base o histórica

Para el desarrollo del proyecto y como primer paso en la actividad de diagnóstico, se incluyó un análisis de información de referencia o histórica que complementara, en este caso, la caracterización de la demanda en la zona de estudio.

Caracterización de la demanda y oferta

Adicionalmente se desplegó una campaña de campo, la cual se muestra de forma resumida en el siguiente mapa. Se observa que el mayor nivel de detalle de levantamientos se ubica en la zona noroeste y sureste del área de estudio del proyecto, en donde complementó las observaciones y mediciones de aforos realizados en el 2016 para el proyecto Aerómetro y la combinación de otro estudio de referencia.



Encuestas origen-destino y actualización matrices origen-destino

Se levantaron 3,092 encuestas de interceptación, entre el 20 y el 23 de septiembre de 2021. Los resultados permitieron identificar patrones de la población. Algunos de los hallazgos de la encuesta fueron que la mayor parte de los viajes realizados fueron viajes de trabajo, que Transmetro, el Transurbano y los extraurbanos son los servicios de transporte más utilizados, que el 46% de los usuarios de transporte público utiliza más de un modo de transporte para ir de su origen a su destino. A partir de esta encuesta se estimó que el 35% de los viajes duran más de 1 hora y 15 minutos, y que el 60% de los usuarios gasta 10Q en cada viaje.

Encuestas de preferencia declarada y revelada

Para las estimaciones del valor del tiempo (VOT) se realizaron 300 encuestas, las cuales consideraron 3 formatos (A, B y C) desglosados en bloques o grupos de escenarios. La cantidad total de respuestas analizadas para los 3 formatos y bloques de preguntas ascendió a 1,772 respuestas validas.

A partir del análisis de los resultados de las encuestas de preferencia declarada, se realizó la calibración del modelo de elección discreta al considerar combinación de datos; con el fin de poder examinar las opciones discretas y poder superar tres limitaciones importantes del modelo Logit al permitir la variación aleatoria de la selección entre los diferentes encuestados, los patrones de sustitución sin restricciones entre las opciones y la correlación de factores no observados a lo

largo del tiempo. Para llevar a cabo la calibración de los modelos se consideró la calibración considerando el sistema a incorporar y sin el. Como resultado de la calibración se determinó que los modelos incorporando el sistema a utilizar tienen los mejores ajustes.

Considerando lo anterior, se determinó el Valor del Tiempo (VOT) con enfoque en área de estudio del proyecto. Se evidencia que en el caso de los usuarios dentro del corredor su valor del tiempo se encuentra en el rango entre **10,8 a 11,9 Quetzales/hora.** Cabe resaltar que el VOT identificado coincide con rangos de valor del tiempo observado en otros estudios de referencia con el estudio de prefactibilidad de MetroRiel.

Aforos vehiculares

Se levantaron aforos vehiculares automáticos (público y privado), durante 24 horas a lo largo de 7 días de la semana en 6 puntos de conteo. Asimismo, se realizaron conteos en 24 puntos para el levantamiento de aforos direccionales (público y privado) durante 13 horas; de 6:00am a 7:00 pm, según clasificación de la Municipalidad de Guatemala: vehículos livianos; buses; urbano, extraurbano, escolar, micros; bicicleta; motos; vehículos pesados (tráiler).

A partir de estas observaciones y las observaciones de 2016, se vieron cambios importantes en el reparto modal del AMG. Se observó una disminución del 10% en el uso de autos livianos y del 13% en buses urbanos. Asimismo, hay un aumento del 20% en motos y del 3% en tráiler para atender las necesidades de viaje del público en la Ciudad de Guatemala y sus alrededores.

Aforos - Frecuencia Ocupación Visual (FOV)

Se realizó la medición de frecuencias y ocupación promedio de las unidades de transporte público, en 10 puntos durante 13 horas, de 6am a 7pm.

Los levantamientos de frecuencia ocupación visual permitieron identificar la frecuencia de servicio de transporte por punto de conteo, así como el volumen de pasajeros, según modelo y ocupación visual observada.

Los aforos realizados en 2021 permiten conocer los puntos de mayor concentración de demanda y ampliar los estudios realizados en 2016, incorporando nuevos puntos fuera del corredor. A diferencia de los estudios realizados en 2016, en este estudio se incorporan vialidades con orientaciones distintas a oriente y occidente. Se estima que circulan 575,199 pasajeros en un día promedio a lo largo de los 10 puntos observados, tomando en cuenta que este número es la agregación los puntos por los cuáles un mismo vehículo podría circular a lo largo del día. El FOV 6, El Carmen, es el punto que más viajes acumula en este estudio, con 131mil viajes.

Aforos ascenso - descenso

Se observaron los movimientos de ascenso y descenso en cinco puntos clave, a partir de los datos obtenidos se estimaron las secciones de carga máxima a lo largo del corredor, así como los

horarios de pico en la demanda por traslados y transbordos en estos puntos del AMG. Asimismo, se registraron las rutas más demandadas en distintos momentos del día y la dirección de los vehículos.

En cuanto a los picos de demanda de ascenso, descenso y transbordo. Por la mañana, estas estaciones encuentran su punto de mayor de demanda entre las 6am y las 8am. Por la tarde, las estaciones encuentran su pico a partir de las 3pm hasta las 7pm. Las dos estaciones que tienen un pico de demanda a partir de las 3pm; El Guarda y Obelisco, son también las dos estaciones centrales y en donde más movimiento se observaron durante el estudio

Oferta de rutas de transporte público

De acuerdo con el Sistema de Transporte Público, al mes a noviembre de 2019 (antes del inicio de la emergencia sanitaria derivada por la COVID-19) circulaban 80 rutas de 109 autorizadas. Dichas rutas se encontraban distribuidas en 8 sectores del área metropolitana de Guatemala. A partir del inicio de 2020, los servicios de transporte público modificaron sus servicios frente a las exigencias de las autoridades por garantizar las medidas de salud necesarias, así como la contracción de la demanda. El servicio de Transmetro mantuve en circulación con todas sus líneas hasta el día de hoy.

Inventario físico de la red vial principal

Para el estudio de pavimentos a lo largo del corredor se efectuaron varias visitas de campo en las que se evaluó la calidad del pavimento de la rodadura, así como la disponibilidad de espacio para peatones. El corredor fue dividido en segmentos de aproximadamente 200 metros cada uno y para los que se estableció un valor de 0 a 100 en lo referente la calidad del pavimento.

En lo relacionado con la acera o espacio peatonal se establecieron dos criterios: Existen aceras o no existen aceras. Este aspecto es crítico a lo largo del corredor, en especial en la parte oriente de este (Bulevar de los Próceres), dado que gran parte de este no posee aceras ni espacio para la misma. A partir de allí se ilustro en Google Earth los tramos y se colocaron las características de los mismo dentro del mismo archivo. En paralelo se efectuó un levantamiento en video de todo el corredor.

Secciones trasversales en los ejes del proyecto

Se realizaron 16 levantamientos de secciones transversales de paramento a paramento en el ámbito del corredor.

El objetivo de este levantamiento fue el de conocer la composición y o distribución del espacio o espacios dedicados a transporte público, transporte privado, peatones y ciclistas, así como conocer las dimensiones de aceras, camellones o medianas, y número de carriles por sección analizada. En este análisis se observó que, en todos los casos, el 62% del espacio, medido de paramento a paramento o de fachada a fachada es ocupado por vehículos automotores y que para el menos el 70% de las observaciones el espacio dedicado para el vehículo automotor es del 80%.

Diagnóstico legal institucional

El diagnostico legal tiene como finalidad encontrar toda aquella información relevante que pueda ser utilizada como insumo para el estudio, así como los puntos de coincidencia de los planes, proyectos e informes anteriores, y aquellos que requieren alineamiento para determinar la afectación de estos en el corredor y empatarlos con los planteamientos del sistema de movilidad integral que se pretende estructurar en el eje Oriente-Occidente. Así mismo, tiene como funcionalidad ser la base del diagnóstico legal institucional en el que se elaborarán las recomendaciones y estrategias para la estructuración, operación e implementación de la propuesta del transporte público masivo.

A lo largo de los años se han elaborado diversos estudios y se han instituido planes sobre el desarrollo de la movilidad y del transporte dentro del área metropolitana de Guatemala. De los primeros estudios derivaron la implementación del sistema Transmetro de BRT y la reorganización de rutas de buses en el sistema Transurbano.

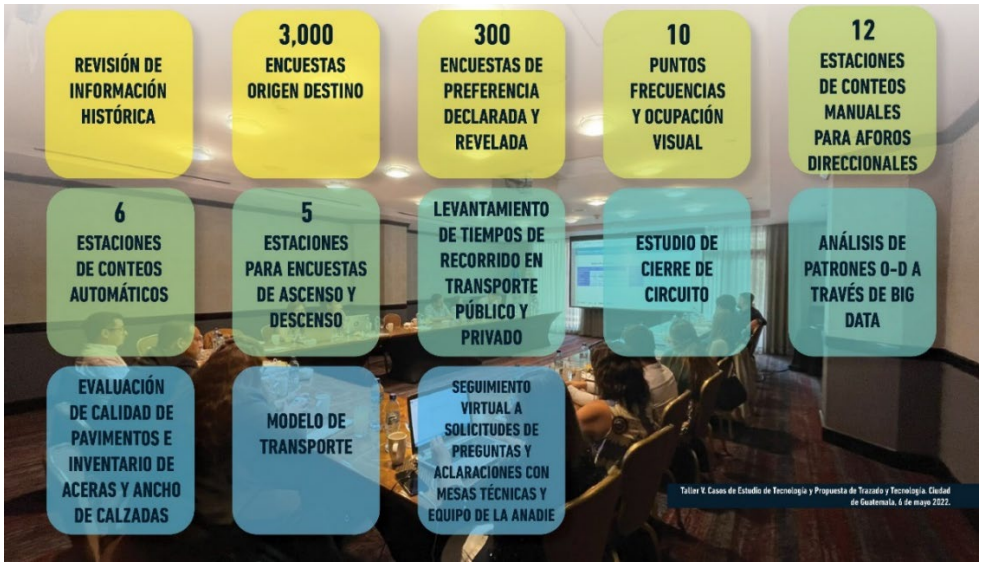
Posteriormente se desarrollaron estudios enfocados en la implementación de un transporte masivo en el Eje Norte-Sur que buscan aprovechar y reimplantar las vías existentes del ferrocarril. Por ello es de gran utilidad aprovechar toda la información proporcionada por estos estudios, informes y planes previos para procurar que el presente análisis sea coherente con la planificación de la infraestructura y transporte que se ha estado realizando de forma dispersa y que afecta al área metropolitana de Guatemala. De igual manera es esencial identificar todas aquellas regulaciones y documentos jurídicos relevantes que imponen normativa relacionada con los planes o programas de ordenación territorial.

El análisis urbano legal se enfoca en entender la situación actual urbana, desde una perspectiva legal, con base en información existente que actualmente se encuentra dispersa y que no requiere la producción de nuevo conocimiento. Las tres principales fuentes de información identificadas fueron: las regulaciones, las entidades públicas y las entidades del sector privado.

La primera fuente implicó la recopilación de todas las leyes, reglamentos, acuerdos y ordenanzas relevantes que desarrollaran cuestiones relacionadas a la planificación o gestión del transporte y la movilidad urbana, el ordenamiento territorial, las zonificaciones y la protección de zonas históricas y/o patrimonio histórico y cultural. La segunda fuente, las entidades públicas, conllevó en primer lugar la revisión de la información base proporcionada en las Bases de la Licitación Número ANADIE-01-2019, la cual fue posteriormente complementada con otros instrumentos e información obtenida por solicitudes posteriores realizadas directamente a ANADIE, Muni Guate y Muni Mixco, así como a otras entidades públicas a través de sus respectivas Unidades de Acceso a la Información Pública, como por ejemplo el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, entre otros. Por último, también se consideró pertinente solicitar información, a entidades de la iniciativa

privada y sociedad civil, sobre sobre proyectos, eventos, planes urbanos o iniciativas legales que pudiesen llegar a tener algún tipo de impacto en el corredor Oriente-Occidente.

La siguiente imagen, resume las actividades desarrolladas para la caracterización de la oferta y demanda, así como desarrollo de talleres con actores clave involucrados en el desarrollo del proyecto.



ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE

La actualización del modelo de transporte tomó como referencia el modelo de transporte realizado para el proyecto Metro Riel realizado por la empresa IDOM en el año 2016. El modelo se actualizó considerando la caracterización de la demanda a través del análisis de la campaña de campo, realizada en septiembre de 2021 (aforos, encuestas origen-destino, encuestas de preferencia declarada y revelada, estudios FOV, entre otros).

Dicha caracterización se ajustó a su vez a través del uso de BigData, para identificar un factor de ajuste en los viajes derivado del impacto en la reducción de estos por la contingencia sanitaria la COVID-19. Ajustada la demanda por sesgo de pandemia, se procedió a calibrar las matrices públicas y privadas y a partir de esta fase, se generaron los escenarios base y escenarios con proyecto y sus respectivas proyecciones según horizonte de análisis.

FASE 2. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO DEL CORREDOR EJE ORIENTE – OCCIDENTE

ESTUDIO DE DEMANDA PROYECTADA

Matriz Origen Destino:

A partir del levantamiento de encuestas origen-destino (muestra de 3,092 encuestas) se generó una nueva matriz para la hora de máxima demanda (hora pico mañana). Con la nueva matriz y considerando la matriz semilla del proyecto Metro Riel, además de la matriz generada a través información celular para el proyecto (Big Data), utilizada para la determinación de factores de ajuste por la COVID-19, se generó una nueva matriz base que sirvió para la determinación de la demanda para cada uno de los escenarios definidos. Las matrices resultantes para la hora de máxima demanda en el año base (2020) fueron de 210,463 viajes para la matriz de transporte privado y de 658,662 viajes para la matriz de transporte público.

Valor del tiempo.

El valor del tiempo (VOT) se calculó a partir de la ejecución de 300 encuestas conformadas a partir de tres formatos (A, B y C) y una serie de bloques de preguntas por cada formato. La suma de bloques en cada formato dio un total de 1,772 respuestas, que a partir de su análisis a través de un modelo de elección discreta dio como resultado el valor del tiempo del proyecto. Para el proyecto el valor identificado para usuarios en el ámbito del corredor es entre **10,8 a 11,9 Quetzales/hora** mientras que en el caso del VOT de usuarios que se encuentran distantes o fuera del ámbito del corredor (fuera del centro de la ciudad) el valor del tiempo identificado fue de **5,4 a 6,9 Quetzales/hora.**

Tarifa óptima del sistema.

Con el VOT como insumo para el modelo de transporte y generando un barrido tarifario, que considera incrementos en la demanda y variaciones en la tarifa, además de contrastar los resultados con información base, se obtuvo que la tarifa óptima Q **4.00** por viaje sencillo de partida para el corredor Oriente – Occidente. La tarifa óptima es el punto en donde los ingresos del sistema se maximizan en relación con la demanda del sistema. Es importante resaltar que la tarifa obtenida tarifa técnica o total del sistema, es decir, en esta tarifa no se desglosa ningún subsidio o complemento tarifario por parte del gobierno o agencia de transporte. La tarifa de 4.0Q por viaje sencillo será la tarifa base a utilizar en al análisis financiero y socioeconómico. Sin embargo, se realizarán sensibilidades de tarifa (ej. 5Q por viaje), con el fin de observar variaciones de ingreso y parámetros para el financiamiento del proyecto.

Escenarios de demanda.

Para el análisis de la demanda del proyecto se definió como año base el año 2020. El año base 2020 consideró ajustes en observaciones de demanda de viajes, particularmente en transporte público. Para realizar dichos ajustes se consideró el factor de ajuste COVID-19 que se utilizó para eliminar el sesgo en patrones de viaje ocasionado por la pandemia de COVID-19. A partir de lo anterior se definieron escenarios de modelación, incluyendo el escenario base o situación actual sin proyecto, además de una serie de escenarios, que consideraban, ajustes en el trazado del proyecto, interacción con otros proyectos de transporte público como el Aerómetro entre otros. Los escenarios evaluados se presentan a continuación.

Nombre Escenario	Demanda de pasajeros de 6 a 8am en el corredor (escenario)
Escenario 1. San Juan – Próceres	50,198
Escenario 2. Roosevelt – Próceres	50,477
Escenario 3. Aerómetro/San Juan – Próceres	52,550
Escenario 4. Aerómetro/Roosevelt – Próceres	51,079

Selección de escenario de trabajo

Los resultados de modelación de la demanda para los cuatro escenarios definidos se utilizaron como insumo para el análisis multicriterio para la determinación del trazado o eje del proyecto. En las siguientes secciones se resume el uso de estos resultados en conjunto con otras variables, que ponderadas, apoyaron en la definición de la selección del trazado del sistema.

ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DEL TRAZADO

Características físicas de las Calzadas San Juan y Roosevelt

Como parte del proceso de selección del trazado más adecuado para el sistema de transporte público masivo, se realizaron distintas visitas a los corredores para apreciar las características técnicas que pudieran presentarse más adelante como oportunidades o retos. En esta etapa se utilizaron indicadores y datos levantados previamente, así como las apreciaciones visuales que el equipo técnico logró detectar y definir como elementos que se debían enfatizar. Es decir, se integró un análisis cualitativo, incluyendo también elementos cuantitativos con el objetivo de concentrar en una lista los elementos técnicos más relevantes para la selección del trazado final.

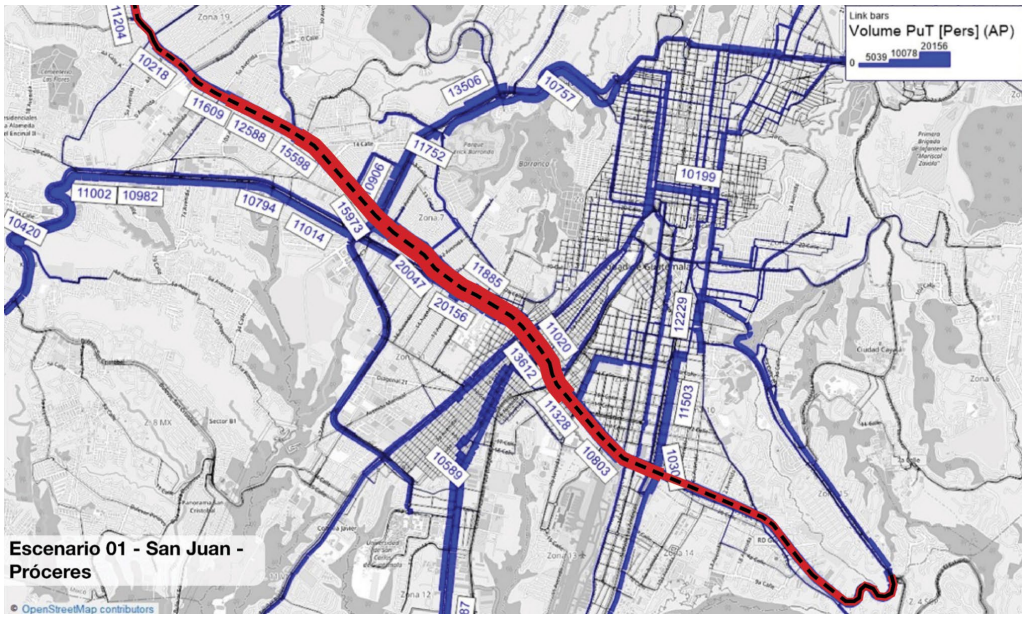
Proyección de la demanda

Proyectos futuros en el AMG._La identificación de proyectos futuros de movilidad para el área metropolitana de la ciudad de Guatemala, que pueden tener un impacto en el corredor Este Oeste, se realizó sobre la base de documentos oficiales o publicados en presentaciones, así como con algunas consultas a municipalidades y expertos asociados al desarrollo de planes de movilidad en la zona.

Existen distintos grados de certeza sobre la realización de esos proyectos en el tiempo. Algunos de sus proyectos cuentan ya con primeros estudios de prefactibilidad, otros son ideas preliminares de conexión sin un trazo completamente definido.

Escenario 01 San Juan - Próceres.

Proyección de la demanda. A partir del Escenario 01, que fue el escenario final seleccionado para el trazo del proyecto, se proyectó la demanda hacia un horizonte de 30 años a partir del año 2020, que fue el año base definido para el proyecto. La siguiente figura muestra la asignación de la demanda de usuarios de transporte público en el año base en el escenario 01.



ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Selección de la tecnología para el sistema

Para la selección de la tecnología se generó un análisis multicriterio que consideró y ponderó los siguientes modos de transporte.

1. Metro pesado (HRT)
2. Metro ligero (LRT)
3. Tranvía
4. Tram-Train
5. BRT
6. Trolebús
7. Teleférico

El análisis multicriterio consideró la ponderación de variables cuantitativas y variables cualitativas, que sumadas generaron el resultado final para la selección de la tecnología con mayor viabilidad técnica y económica. El listado general de variables cuantitativas y cualitativas evaluadas se presenta a continuación.

Variables cuantitativas

1. Demanda de pasajeros servida en *pphpd* (pasajeros por hora por dirección)
2. Costo Capital paramétrico (CAPEX)
3. Relación paramétrica de costo/beneficio

A partir del análisis cuantitativo los modos que mejer se ajustaron a las necesidades técnicas y económicas fueron BRT y LRT. A partir de esta preselección, se generó la evaluación cualitativa, la cual consideró los criterios listados a continuación.

Variables cualitativas (categorías)

1. Experiencia Institucional
2. Experiencia en procesos de compra de material rodante
3. Características del vehículo
4. Presencial local de manufactura o ensamble de material rodante
5. Experiencia local en operación de sistemas similares

Finalmente, la sumatoria de resultados para los modos BRT y LRT de aspectos cualitativos y cuantitativos calificó con mayor puntaje a la opción BRT sobre la opción LRT.

Por tanto, se escogió la opción BRT como la opción más viable, desde una óptica técnica y económica, de transporte público masivo para el eje San Juan – Próceres.

Tecnología seleccionada

La opción BRT, es la opción que, desde una óptica técnica y costo, además desde una óptica institucional y de capacidad local resulta ser la más se ajusta para atender la demanda en el corredor San Juan-Próceres. Es una opción que, además, por sus características de inversión, puede cubrir, hasta cierto punto y según el esquema tarifario y nivel de subsidio definido, sus costos operativos (OPEX).

Principales características de los sistemas BRT

Un sistema BRT corre o se desplaza en un carril segregado. Es decir, las unidades de transporte no se mezclan con otros modos de transporte en la mayor parte de su recorrido, salvo en intersecciones semaforizadas o en su recorrido hacia el depósito o patio. Dicha segregación permite que las unidades de BRT viajen a una velocidad mayor al compararla con el resto de los modos, particularmente en horas pico o de mayor congestión.

Las estaciones regularmente se ubican al centro del eje o línea de BRT. Esto evita demoras por vehículos que giren o viren a la derecha o bien impacto en demoras por vehículos que se detengan en la bahía para recoger pasajeros o bienes.

La tarifa se recolecta fuera de la unidad de BRT. Esto permite que el pago se realice antes, incluso con tarjetas de movilidad con prepago. Lo que permite evitar demoras ocasionadas por los pasajeros al momento de abordar.

Abordaje de pasajeros a través de plataformas elevadas con elevación similar al piso de la unidad de BRT. Esto permite el abordaje de pasajero de forma más rápida, asimismo, personas con capacidades diferentes (ej. personas en sillas de ruedas), personas con carriolas o bicicletas pueden abordar sin variaciones en nivel (plataforma/vehículo) en la unidad de BRT.

Restricciones o prohibición de viraje (a la izquierda) para vehículos privados, priorización en derecho de paso para unidades de BRT, sobre todo en intersecciones señalizadas. Lo anterior ayuda a reducir demoras y por tanto a reducir los tiempos de viaje de los usuarios.

Frecuencias y capacidad. Las frecuencias de un BRT de alta capacidad suelen ser incluso superiores a las frecuencias de servicio de un sistema metro (HRT) o un sistema de tren ligero (LRT). Sin embargo, altas frecuencias también pueden ocasionar un impacto en la operación, observables principalmente a la llegada de las unidades de BRT a las estaciones.

Este impacto puede repercutir en demoras para los pasajeros, principalmente en horas pico. Asimismo, el dimensionamiento de la flota está relacionado con la capacidad de las unidades y la demanda identificada para el corredor. Sin embargo, la definición del tipo de vehículo

(tipo/capacidad) dependerá de la disponibilidad en el mercado para la manufactura de unidades de BRT (articuladas o biarticuladas).

Inversión. El grado de inversión o costo capital (CAPEX) oscila entre los 10-20 MUSD/km, el precio dependerá de la capacidad que la institución estructurante tenga para implementar este tipo de proyecto. Asimismo, en términos de costos de operación (OPEX/año), esta está entre 10% y 15% del costo total del CAPEX.

Movilidad urbana

Restructuración de rutas. Un proyecto BRT requiere de una restructuración de rutas de servicios de transporte público que favorezcan la captura de usuarios en el corredor de BRT identificado. La restructuración de rutas es un paso esencial en cualquier proyecto BRT; las rutas que tienen una competencia directa, o corren de forma paralela al corredor identificado, son las primeras rutas para reestructurar. Esta estructura permite mejorar la operación de los servicios de transporte público, mejorar el ámbito urbano y medio ambiente, al eliminar o estructura rutas de transporte público e integrar servicios alimentadores que permitan enlazar la demanda de pasajeros entre un servicio secundario y un servicio troncal a través de puntos o zonas de transferencia identificadas.

Integración tarifaria y modos de pago. El esquema tarifario de un sistema BRT se puede integrar a través de los sistemas ITS de transporte público, con los esquemas tarifarios presentes en los servicios de transporte público. El modo de pago, ej. tarjeta de prepago, puede incorporar al nuevo servicio y distribuir los ingresos entre operadores a través de una cámara de compensación, estructurada por la autoridad de movilidad o transporte.

Integración urbana. Un sistema BRT puede apoyar en la mejora urbana del corredor. Desde revitalizar el eje del proyecto desde una óptica de desarrollo inmobiliario, hasta integrar y mejorar puntos, zonas o centros de transferencia modal. Asimismo, un proyecto BRT puede apoyar a esquemas de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), con enfoque en uso mixto y regeneración urbana, así como esquemas de captura de valor que beneficien e incrementen los ingresos del sistema BRT.

ESTUDIO TÉCNICO: DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA (A NIVEL PREFACTIBILIDAD)

Estudio topográfico

De manera general a nivel de planimetría el área de estudio revela que desde el Caminero a Plaza el Obelisco constituye un descenso entre los 4 a 6 grados y a partir de este punto inicia en acenso con una pendiente de 2 grados que es en gran parte el Boulevard Los Próceres que es relativamente plano hasta el punto donde se ubican las instalaciones de USAID, límite entre Guatemala y el municipio de Santa Catarina Pinula, a partir de aquí la pendiente cambia a 6 grados. Es importante

resaltar que gran parte del área cuenta con pavimento lo que implica que la altimetría no sufre variaciones abruptas marcadas.

Por otra parte, los elementos de obra civil como pasos a desnivel y subterráneos son importantes a considerar dado el grado de pendiente y las estructuras que los componen como son las barandas en los costados.

En el caso específico del paso a desnivel de Tecún Umán se encuentran pilares que sirven de columnas que pueden impactar el diseño del trazo. En estos pasos a desnivel en caso de lluvias prolongadas pueden sufrir inundaciones según historia reciente afectando la movilidad.

Condiciones hidrogeológicas del suelo

El área del proyecto se extiende a través del tramo que inicia en Calzada San Juan de la zona 7 en el municipio de Mixco y concluye al finalizar el Boulevard Los Próceres de la ciudad de Guatemala en zona 10.

El proyecto, se localiza en la ciudad de Guatemala parte alta de seis cuencas que drenan hacia las vertientes del Pacífico y Atlántico, son de gran importancia para el desarrollo social, económico y ambiental del área urbana. La altitud varía entre los 1638 msnm cercano al inicio del tramo municipio de Mixco, hasta los 1500 msnm en el municipio de Guatemala.

Análisis geológico y condiciones del subsuelo en el tramo

Este análisis permitió conceder las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo en la estructura de pavimento y del área de construcción de paradas, utilizando Pruebas de Penetración Estándar (SPT) y Penetrómetro Dinámico de cono (DCP).

Se realizaron 46 sondeos por medio de SPT (*Standard Penetration Test*), metodología empleada para medir la compacidad del suelo, donde éste se opone a la penetración de una sonda estándar tipo SPT, con un martillo de 140 libras y 30 pulgadas de caída, según norma ASTM 1586-64T. Por medio de este ensayo se percutó una tubería de acero en el subsuelo que permitió la recolección y extracción de muestras, así como la contabilización de número de golpes necesarios para insertar secciones de 45 cm de tubería.

El número de golpes necesarios para penetrar el subsuelo cada 0.45 metros hasta alcanzar la profundidad planificada (3 metros) o hasta alcanzar rechazo según la norma, en la mayoría de los casos por encontrar cantos y bloques de roca y obtener un Nspt mayor a 50, en 15 cm de avance.

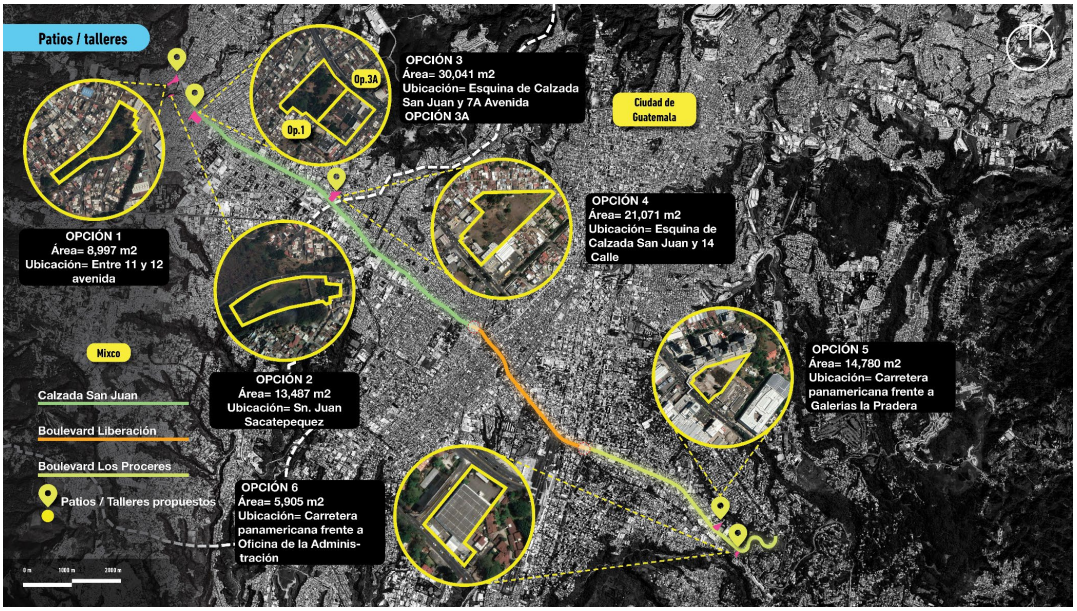
Flota del proyecto

Para el análisis de flota del proyecto (unidades de transporte) se tomó como referencia el perfil horario observado a partir de los análisis FOV en el corredor. A partir de este y considerando los volúmenes de demanda máxima por sección y dirección identificados a través del modelo de transporte se generó una distribución de unidades BRT horaria por dirección.

La cantidad total de unidades BRT necesarias para servir a la sección de máxima demanda observada para el año base (2020) es de 64 unidades.

Patios y talleres

La selección de terreno para el patio-taller del sistema consideró una evaluación multicriterio para una serie opciones con potencial para alojar esta instalación. Las ubicaciones evaluadas se listas a continuación.



Aspectos Técnicos del Sistema

El trazo del proyecto recorre el eje Oriente-Occidente, el cual está constituido por los siguientes corredores:

Calzada San Juan y el Trébol, Calzada Roosevelt, el Trébol y Bulevar liberación y por último el Obelisco y Bulevar los Próceres.

Para el trazo del proyecto se colocó el eje al centro del camellón existente esto con la finalidad de afectar lo menos posible a las secciones de las vialidades existentes, así como afectar lo menos posible la vegetación existente.

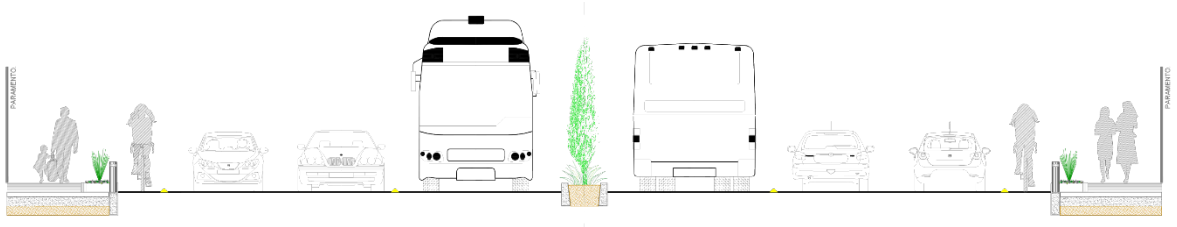
La sección propuesta para todo lo largo del proyecto tiene las siguientes características:

1. Un camellón al centro que divide el sentido de la vialidad este camellón tiene como mínimo 1.00 m. con su guarnición de concreto trapezoidal acabado aparente que nos confina el área verde. De ahí sigue el carril confinado para el sistema de BRT con un ancho de 3.60 m. por sentido con una superficie de rodamiento de losa de concreto armado acabado rayado con sus vialetas que ayudan a indicar el confinamiento del carril exclusivo del BRT.

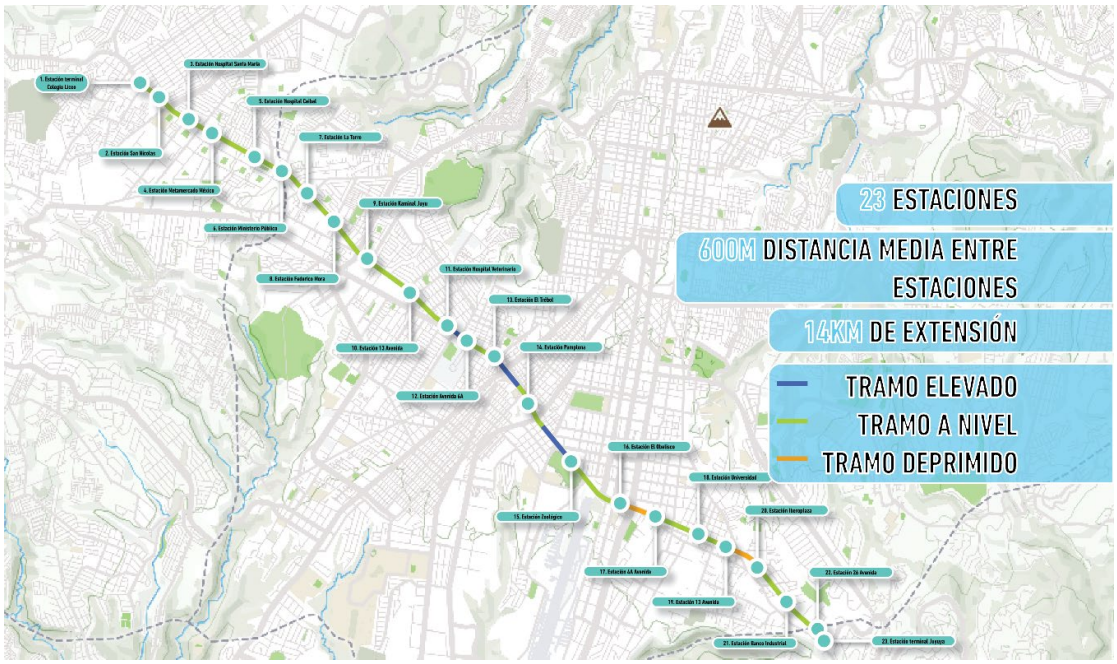
2. El siguiente espacio con el que se cuenta en la sección son dos (2) carriles para vehículos particulares por sentido con un ancho de 3.50 m. en cada carril, estos con carpeta asfáltica. Carril para ciclovía es compartido con el de vehículo particular, con su señalamiento horizontal en piso correspondiente y señalamiento vertical en los cruces donde haya que indicar al peatón y al vehículo que hay un carril de ciclovía compartido.
3. Banqueta (acera) para peatones con un ancho de 3.00 m. y una propuesta de jardinera con 0.80 m. con vegetación nativas de la región y la vegetación que se propone son cubre suelos, arbustos y árboles pequeños que no obstaculicen la visual en la banqueta.

Secciones tipo

En la siguiente figura se observa el camellón para área verde es de 1.00 m., con carriles confinados para el sistema de BRT ambos sentidos de 3.60 m. y carriles para vehículos particulares de 3.50 m. y carril de ciclovía compartido con vehículo particular con banqueta para circulación peatonal de 3.00 m. y una jardinera con un ancho de 0.80 m. ambos sentidos



La siguiente imagen muestra el trazado por tramos del proyecto, así como la ubicación de estaciones, el número de estación y el nombre preliminar para cada estación.



Estudio de riesgos

El riesgo se define como un evento o condición incierta que, en caso de materializarse generara un impacto negativo en uno o más de los objetivos del proyecto. Los riesgos pueden provocar aumento de los costos, retraso en los plazos y falta de calidad durante el desarrollo del proyecto, desde el principio hasta su finalización.

En total se identificaron 21 riesgos principales, desde la etapa de planeación hasta la etapa de operación del proyecto. En la ilustración anterior se detallan estos riesgos, así como las principales consecuencias de que el riesgo se manifieste. A cada riesgo se le asoció una probabilidad, un impacto, de tal forma que recibiera una calificación.

Riesgo Inherente

Impacto		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Probabilidad	Muy Alta					
	Alta			1	1	1
	Media		2	4	2	2
	Baja		1	4	2	1
	Muy Baja					

Costos de inversión - CAPEX

El proyecto STPM considera una serie de rubros categorizados que en su conjunto conforman la inversión total del proyecto o los costos capital (CAPEX). La siguiente tabla muestra el desglose de cada rubro, su CAPEX y su participación en la inversión total del proyecto.

Rubro por categorias	CAPEX USD	Participación
1. Proyectos ejecutivos	$ 9,615,345	2.89%
2. Diseño e implementación	$ 6,325,584	1.90%
3. Peritos responsables de obra	$ 200,000	0.06%
4. Patio - Taller	$ 2,566,575	0.77%
5. Carril segregado	$ 51,986,440	15.60%
6. 23 Estaciones (terminales/intermedias)	$ 22,087,439	6.63%
7. Tramos elevados - zonas Hospital Roosevelt, Trébol, Tecun Uman	$ 39,791,500	11.94%
8. Deprimido zona Obelisco	$ 44,060,000	13.23%
9. Sistemas ITS	$ 15,500,000	4.65%
10. Integración urbana	$ 11,619,888	3.49%
11. Predios patio y terminales	$ 22,373,032	6.72%
12. Predios para derecho de vía	$ 64,749,132	19.44%
13. Material Rodante	$ 33,280,000	9.99%
14. Costos generales de mitigación	$ 9,000,000	2.70%
Gran Total CAPEX	**$ 333,154,934**	**100%**

Costos de operación y mantenimiento – OPEX

Al igual que el CAPEX, los costos estimados de mantenimiento y de operación (OPEX) se desglosan por rubro especifico. La siguiente tabla muestra el desglose del OPEX, el monto por rubro y su participación en el costo total.

Rubro	OPEX USD/año	Participación
1. Equipo de trabajo	$ 77,522	1%
2. Administración, Finanzas e Recursos Humanos	$ 195,017	1%
3. Generación de Estudios	$ 55,719	0%
4. Operación de la línea	$ 2,246,938	15%
5. Operación de las estaciones	$ 2,664,832	18%
6. Mantenimiento material rodante	$ 641,983	4%
7. Mantenimiento carril segregado y equipamientos	$ 2,778,693	18%
8. Energía	$ 2,519,477	17%
9. Material para mantenimiento	$ 2,105,192	14%
10. Otros	$ 1,749,331	12%
Gran Total OPEX	**$ 15,034,706**	**100%**

EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA

Caracterización del área de influencia del proyecto

El área de influencia se conforma por los Municipios de Guatemala y Mixco pertenecientes al área metropolitana de Guatemala (AMG), situada en el Departamento de Guatemala. Concentran una población de 1.389.165 habitantes según datos del Censo (2018). Ambos municipios concentran una expansión territorial de 360 km².

En términos de PIB per cápita para el año 2020 (USD al año), para el Municipio de Guatemala la cifra ascendía a 18.596 y para el Municipio de Mixco a 9.607. El Departamento de Guatemala concentra 49.357 empresas, el 62,1% del total país.

Evaluación socioeconómica

Para el presente Proyecto se supone como plazo de evaluación 30 años. Se toma como hipótesis y parámetros los siguientes datos:

1. El año base de la evaluación socioeconómica es 2024.
2. El año de operación del Proyecto es 2027.
3. La evaluación se realiza a precios constantes del año base.
4. La moneda de evaluación y visualización de resultados es el dólar estadounidense.
5. El tipo de cambio es de 7,73 Q/USD, correspondiente al tipo de cambio promedio observado en 2021.
6. La tasa social de descuento es de 12%.

En base a los supuestos anteriores, los resultados finales de los beneficios son los siguientes:

Alternativa	VAN ahorro de tiempo (usd)	VAN ahorro de costos de operación vehicular (usd)	VAN reducción de CO2 (usd)
Alternativa l - Proyecto BRT con Aerómetro	411.431.877	-7.435.788 -7.145.931	414.706398.540
Alternativa ll - Proyecto BRT	346.064.620	-7.979.713 -7.668.653	445.042427.693

Se observa un ahorro en el tiempo de viaje en ambas alternativas, con una eficiencia más elevada en la aquella que incluye la opción de Aerómetro. Los principales beneficios del proyecto se generan a partir de la variación incremental de costos (ahorro) de la situación con proyecto menos la situación sin proyecto, además de la variación de las emisiones.

Adicionalmente, se identifican otros beneficios que no son cuantificados entre ellos:

1. Reducción de la accidentalidad, generando una menor cantidad de muertes y menores gastos en salud por usuarios lesionados por siniestros.
2. Beneficio por ahorro de COV y tiempos de usuarios por transporte privado.
3. Reducción de criminalidad derivada de la menor cantidad de autobuses en el transporte público convencional.
4. Beneficios derivados por menores costos de mantenimiento de infraestructura vial de la ciudad y menores gastos de operación y mantenimiento del sistema público de transporte tradicional

ESTUDIO FINANCIERO

La evaluación financiera describe el caso de negocio para el desarrollo del proyecto. Concretamente, presenta los resultados financieros derivados de las hipótesis formuladas sobre por la potencial demanda, la capacidad generar ingresos, los gastos de capital (CAPEX), los gastos de operación y mantenimiento (OPEX) y las condiciones de financiación para determinar bajo qué condiciones puede ser financieramente viable el Proyecto.

La conclusión de la evaluación financiera indica que **el proyecto es financieramente viable como una Asociación Público-Privada (APP) basada en los ingresos con los supuestos actuales y con un subsidio parcial del estado durante los primeros años de operación.**

El subsidio en los primeros años va de la mano con un periodo de adaptación de la demanda, la cual se estabiliza y llega a su máximo esperado en los primeros 3 años de concesión. Se estima que el modelo de contrato sería de 30 años con 100% del financiamiento privado.

Costo de capital y mantenimiento

El BRT está diseñado para servir al área metropolitana de Guatemala y anticipa 50 autobuses al principio de operaciones. Con base en este marco, se estima que el proyecto incurrirá en aproximadamente $333 millones de dólares americanos en costos de capital, y $15 millones de dólares americanos anuales por concepto de operaciones y mantenimiento.

Ingresos

Como parte de la evaluación financiera, se desarrollaron una serie de estimaciones de ingresos por fuentes tradicionales, principalmente de ingresos por tarifas pagadas por los usuarios del transporte público e ingresos por publicidad tradicional. Teniendo en cuenta que el proyecto podría gozar de otras fuentes de financiamiento innovadoras que podrían complementar las fuentes de ingreso tradicionales, se introducen varios instrumentos de captura de valor utilizados en otros países en la región y las condiciones favorables para su implementación.

Optimización de la estructura de financiación

El financiamiento privado es parte del acuerdo de APP y será proporcionado por el Concesionario de la APP, que obtiene financiamiento a través de una combinación de capital, proporcionado por los accionistas de la empresa del proyecto, y deuda proporcionada por los bancos, o a través de bonos u otros instrumentos financieros. Por tanto, la estructura financiera es la combinación de capital y deuda, y las relaciones contractuales entre los accionistas y los prestamistas.

Análisis de sensibilidad

Para evaluar con más detalle la solidez financiera del Proyecto, el Equipo realizó un análisis de sensibilidad. Reflejando la sensibilidad contempladas, los cuales incluyen:

A. cambios de los usuarios o demanda del servicio en +/- 10 y +/- 20%;
B. cambios en los costos de inversión en +/- 10 y +/- 20%;
C. cambios por inclusión de Aerómetro,

Este último representa un aumento del capex en alrededor 0.3% y un aumento de la demanda en un 5%.

D. cambios de Tarifa a 5Q:
    i. cambio de la tarifa por pasajero a 5Qa la tasa esperada de retorno (TIR = 16%);
    ii. cambio de la tarifa por pasajero a 5Q a la tasa esperada de retorno (TIR = 18%);

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Diagnóstico de movilidad

Los trabajos de campo realizados para este estudio permitieron actualizar la información relativa a los patrones de movilidad en el AMG, en particular a lo largo de Calzada San Juan, Roosevelt, Boulevard Liberación, Boulevard Los Proceres y Av. 20 Calle. Las observaciones confirmaron la relevancia de estos ejes transversales como corredores clave para la conectividad oriente-occidente en el AMG.

En los distintos puntos analizados se observa principalmente una demanda de viajes en dirección occidente por las mañanas y en dirección oriente por las tardes. Por las mañanas, el horario que más viajes acumula es entre las 7am a las 8am, mientras que por las tardes la hora pico tiende a encontrarse entre las 5pm y 7pm.

Los picos matutinos tienden a ser más cortos y los picos vespertinos más prolongados, lo que quiere decir que por la mañana un mayor número de pasajeros se acumula en periodos de tiempo más cortos. Durante estos picos, los puntos estudiados llegan a acumular hasta 16,432 viajes en una hora. Asimismo, la hora valle a lo largo del corredor se encuentra entre las 10am y la 1pm. Si bien la demanda decrece significativamente durante la hora valle, el flujo de pasajeros se mantiene cerca de los 3 mil viajes por hora en promedio.

B. Demanda y Trazado

Selección del Trazado

El modelo no es sensible a los cambios en el trazo entre las alternativas de 20 Calle y Boulevard Próceres, en parte por la proximidad de estas, pero, sobre todo, porque en ambos casos sería la única alternativa de movilidad en transporte público para los usuarios y todos los viajes la usarían independientemente del corredor. Sin embargo, se considera que es importante incluir otros aspectos en la elección como el espacio disponible y la presencia de generadores o atractores importantes (ej. oficinas corporativas, comercios, escuelas, hospitales). Por lo anterior se elige el Boulevard Los Próceres como la alternativa de modelación.

C. Tecnología

Selección de la Tecnología

La selección de material rodante consideró aquellas tecnologías, que pudieran servir la máxima demanda observada por pasajeros/hora/dirección (pphd) en el punto con mayor carga del proyecto. Las tecnologías que mejor se ajustan a la máxima demanda por hora sentido son el LRT o Metro

ligero y el BRT. Las tecnologías que no cumplían con el rango de servicio, ya sea por debajo o por arriba de lo necesitado, fueron descartadas.

Se evaluó a su vez, el costo capital promedio paramétrico (CAPEX MM USD) para las tecnologías que si cumplían con las necesidades de demanda. Ambos criterios se utilizaron para realizar la ponderación cuantitativa de la tecnología. Asimismo, se evaluaron las opciones de BRT y LRT de forma paramétrica. Esto con el fin de identificar los potenciales ahorros en MM USD y contrastarlos con la inversión requerida (CAPEX). La opción BRT obtuvo una mejor relación costo/ beneficio. Con esta opción, se anticipa que la tarifa pueda cubrir el OPEX del proyecto.

D. Características físicas del corredor

Estudio topográfico, principales resultados

De manera general a nivel de planimetría el área de estudio revela pendientes entre 2 y 6 grados gran parte del área cuenta con pavimento lo que implica que la altimetría no sufre variaciones abruptas marcadas

En cuanto a las dimensiones de las vías se resume de la siguiente manera: la Calzada San Juan tiene un promedio de 7.60 metros, se une con la Calzada Roosevelt donde se tiene el ancho más grande de vialidad que va entre los 25 metros, mientras que el Boulevard Liberación cuenta con un promedio de 10.81 metros y finalmente para Boulevard los Proceres de 9.24 metros, lo cual implica que existe espacio adecuado para los carriles del sistema de transporte. Es necesario considerar medidas en el diseño para el impacto que puedan tener los elementos de estructuras de obras civiles como pasos a desnivel que cuentan con barandas, columnas y drenajes que pueden llegar a colapsar en las épocas de alta lluvia.

Condiciones hidrogeológicas del suelo

Los resultados mostraron cuencas con formas alargadas, en gran porcentaje su uso y cobertura es predominado por zonas artificializadas (urbanas) por el avance de la ciudad de Guatemala, con acuíferos constituidos por depósitos en su mayoría pómez del cuaternario y coladas de lava del terciario en las zonas inferiores, donde los niveles del acuífero han disminuido considerablemente por la explotación para uso doméstico e industrial y la impermeabilización del suelo por crecimiento urbano.

El balance hídrico de las cuencas muestra la ETP tiende a cero en las zonas impermeabilizadas, por consiguiente, los valores promedios son bajos y los excedentes altos produciendo escorrentía superficial principalmente en los meses de mayo a octubre con registros que sobrepasan los 200 milímetros mensuales en los menses de junio y septiembre principalmente

Análisis geológico y condiciones del subsuelo en el tramo

Este análisis permitió conocer las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo en la estructura de pavimento y del área de construcción de paradas, utilizando Pruebas de Penetración Estándar (SPT) y Penetrómetro Dinámico de cono (DCP).

Las especificaciones Generales para construcción de carreteras y puentes (libro azul) de Guatemala determinan valores mínimos de CBR (valor soporte del suelo) para cada tipo de capa en una carretera, estos fueron los valores encontrados en el estudio realizado en el tramo, valores que deben considerarse en el diseño y soportes a nivel estructural.

E. Estudio conceptual del trazado

El trazo del proyecto va por todo lo largo de la Calzada San Juan y el trébol, Calzada Roosevelt, El trébol y Bulevar liberación y por último el Obelisco y Bulevar los Próceres, el eje de trazo se contempló al centro del camellón existente, esto con la finalidad de afectar lo menos posibles predios e infraestructura existente, así como evitar la menor afectación a la vialidad y siempre cuidando afectar lo menos posible los árboles que se encuentran en los camellones.

Las estaciones se ubican a todo lo largo del proyecto y se ubicaron de acuerdo a los datos que se tuvieron de los ascensos y descensos de usuarios en los puntos marcados y también se consideró en las ubicaciones en base con el apoyo de las recomendaciones de la Municipalidad de Mixco y pensando en la conexión con los transportes masivos existentes e infraestructura a futuro, es decir el usuario podrá intercambiar de transporte publico si así lo desea o necesite.

Se cuenta con un patio de encierro, el cual está destinado para el resguardo y mantenimiento de los vehículos para el servicio del BRT, para brindar servicio mecánico, cambios de llantas, limpieza al interior, exterior, control de las unidades, este espacio tendrá todas las instalaciones adecuadas para llevar a cabo estas labores y brindar un mejor servicio.

F. Estudio predial

Se analizaron las leyes, reglamentos e informes de las autoridades administrativas, que tienen incidencia jurídica en el desarrollo del proyecto, logrando determinar así las Limitaciones que afectan los predios a adquirir, siendo las siguientes: 1. Necesidad de uso de subsuelo el cual pertenece al Estado de Guatemala; 2. Necesidad de uso de Derecho de Vía; 3. Necesidad de adquirir predios de propiedad privada; 4. Necesidad de adquirir predios afectados por patrimonio cultural; y, 5. Necesidad de adquirir predios con gravámenes, anotaciones y limitaciones.

G. Análisis socioeconómico

Para analizar el impacto en los habitantes de esta se llevó adelante la evaluación socioeconómica del proyecto, donde los resultados alcanzados en la presente versión del estudio corresponden a una preliminar, ya que se incluye valores de variables que no son definitivos. Los resultados podrán verse afectados por los posibles cambios.

En base a la información incorporada en la presente evaluación se concluye que la ejecución del proyecto en sus dos alternativas (con y sin interacción con el proyecto Aerómetro), son rentables desde el punto de vista social. Los Indicadores que resultan del análisis costo beneficio (VANe y TIR social) muestran resultados positivos, superando los umbrales necesarios para determinar la rentabilidad social de ejecutar el BRT.

Estos resultados demuestran que los beneficios del proyecto permiten recuperar la inversión inicial, el costo de oportunidad del capital invertido (tasa social de descuento), la recuperación de los costos de operación y mantenimiento, además de generar una riqueza (beneficio) adicional para la sociedad equivalente al monto del VANe.

La alternativa que incluye la opción de combinar la operativa del BRT con el Aerometro muestra indicadores de rentabilidad mayores. El análisis de sensibilidad incluido presenta una mayor variación antes los cambios en los niveles de CAPEX que de OPEX.

H. Análisis financiero

Con base en los resultados del análisis financiero y nuestra comprensión de los objetivos y limitaciones de la Municipalidad, nuestro equipo concluye que el proyecto es financieramente viable **como una APP basada en los ingresos con los supuestos actuales y un subsidio por parte del Estado en los primeros años previstos de operación**.

Una APP podría factible y puede generar mayor valor por dinero tanto para el Estado como para la sociedad. El financiamiento es parte del acuerdo de APP y será proporcionado por el Concesionario. Esto puede ayudar al Estado a superar limitaciones financieras. Este financiamiento es una combinación de inyección de capital por parte de inversores e inyección de deuda por parte de bancos comerciales, banca multilateral u otros instrumentos financieros.

Como se menciona anteriormente, las estimaciones de flujo de caja proyectan una **necesidad de subsidio tarifario en los primeros 11 años de operación del sistema** para “cerrar” el modelo financiero con una tasa de interna de retorno del proyecto de 16%. El subsidio en los primeros años va de la mano con un periodo de adaptación de la demanda, la cual se estabiliza y llega a su máximo esperado en los primeros 3 años de concesión.