

Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas.

(Contrato BID # UR-T1324-P001)

Informe Final

30/01/2026



Índice

1.	Introducción	1
1.1.	Contexto del proyecto	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.3.	Resumen metodológico.....	3
2.	Insumos.....	5
3.	Zonificación.....	8
4.	Matrices origen-destino	15
4.1.	Generación de mes representativo o típico (MT)	15
4.2.	Determinación de los factores de expansión.....	19
4.2.1.	Determinación de agrupamientos horarios	19
4.2.2.	Procesamiento y depuración de datos.....	22
4.2.3.	Cálculo de los factores de expansión.....	24
4.3.	Matrices origen-destino de viajes.....	24
5.	Red de transporte público escenario base.....	27
6.	Red de oferta escenario con BRT	34
6.1.	Caracterización de la infraestructura	34
6.1.1.	Ciudad Vieja.....	35
6.1.2.	Plaza Independencia – Tres Cruces (calle Pte. Batlle)	35
6.1.3.	Tres Cruces (calle Pte. Batlle)– Intercambiador Belloni	38
6.1.4.	Intercambiador Belloni - Zonamérica	41
6.2.	Reorganización de las rutas de transporte público.....	42
7.	Análisis de marcha tipo.....	46
7.1.	Introducción	46
7.2.	Descripción General de la Metodología.....	46
7.2.1.	Concepto de Marcha Tipo o Ciclo de Conducción	46
7.2.2.	Velocidad operacional observada en sistemas BRT.....	48
7.2.3.	Factores que Afectan la Velocidad de Operación en Corredores BRT.....	53
7.3.	Metodología Aplicada en el Corredor de Montevideo	54
7.3.1.	Alcance del Análisis	54
7.3.2.	Atributos Relevantes para la Marcha Tipo	57



7.4.	Resultados del análisis de marcha tipo.....	63
7.4.1.	Marcha tipo de la situación actual	64
7.4.2.	Resultados generales - Velocidad operacional del corredor	64
7.4.3.	Resultados Detallados - Velocidad operacional de los tramos de análisis	66
7.5.	Conclusiones del análisis de marcha tipo del proyecto	75
8.	Modelo de Simulación de Transporte Público Escenario Base.....	76
8.1.	Introducción	76
8.2.	Modelo de oferta.....	77
8.2.1.	Red vial.....	77
8.2.2.	Red de transporte.....	78
8.2.3.	Generación de paradas.....	80
8.3.	Zonas de transporte	82
8.4.	Modelo de asignación	83
8.4.1.	Calibración y Validación del Modelo	85
8.4.2.	Principales Resultados	88
9.	Modelo de Simulación de Escenario con BRT	99
9.1.	Introducción	99
9.2.	Principales Resultados.....	101
9.2.1.	Periodo Pico Mañana (HPM).....	101
9.2.1.	Periodo Pico Tarde (HPT)	108
9.2.2.	Conclusiones del escenario punta a punta.....	112
10.	Análisis de Alternativas de Servicios Troncales	113
10.1.	Retornos operacionales	113
10.2.	Metodología de Evaluación.....	119
10.3.	Periodo Pico Mañana (HPM).....	119
10.3.1.	Escenario 0 (Base).....	119
10.3.2.	Escenario 1	121
10.3.3.	Escenario 2.....	123
10.3.4.	Escenario 3.....	124
10.4.	Periodo Pico Tarde (HPT).....	126
10.4.1.	Escenario 0 (Base).....	126
10.4.2.	Escenario 1	127



10.4.3.	Escenario 2.....	129
10.4.4.	Escenario 3.....	130
10.5.	Resumen Comparativo.....	132
11.	Análisis de Saturación de Pasajeros en Estaciones.....	133
11.1.	Premisas.....	133
11.2.	HPM – Escenario 0 (situación más favorable)	141
11.3.	HPM – Escenario 3 (situación menos favorable)	144
11.4.	HPT – Escenario 0 (situación más favorable)	147
11.5.	HPT – Escenario 3 (situación menos favorable)	150
12.	Análisis de Capacidad y Saturación de Oferta	153
12.1.	Abordaje Analítico: Metodología.....	153
	Aplicación de los parámetros de capacidad a los distintos contextos operativos del corredor.....	154
12.2.	Abordaje Analítico: Resultados.....	156
	Estimación preliminar de capacidad del corredor 8 de octubre.....	156
12.3.	Abordaje de Microsimulación: Metodología	160
12.3.1.	Red Vial	160
12.3.2.	Configuración de Controladores Semafóricos.....	162
12.3.3.	Tipos de Vehículos	162
12.3.4.	Cantidad de vehículos que ingresan a la red y tiempo de simulación.....	163
12.3.5.	Calibración de parámetros y construcción de escenarios de microsimulación.....	163
12.3.6.	Metodología de procesamiento y categorización de los datos.....	165
12.4.	Abordaje de Microsimulación: Resultados.....	166
12.4.1.	Configuración 1: oferta de servicios troncales del corredor 8 de Octubre.....	167
12.4.1.	Configuración 2: aumento de oferta de servicios troncales para evaluar expansión de capacidad del tramo de 18 de Julio.....	172
12.4.2.	Conclusiones del Análisis de Microsimulación.....	177



1. Introducción

Este documento corresponde al Informe Final de la “Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas” (contrato BID # UR-T1324-P001), elaborado por la empresa REDES Planejamento e Política Pública.

El presente informe reúne un compendio de las tareas desarrolladas a lo largo de la consultoría, describiendo las metodologías aplicadas y los principales resultados obtenidos en cada una de las etapas del proyecto.

1.1. Contexto del proyecto

El presente estudio se desarrolla en el marco de los servicios de consultoría orientados a brindar apoyo técnico al Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), con el propósito de contribuir a la formulación de propuestas técnicas e institucionales que permitan mejorar el desempeño del sistema de Transporte Público (TP) en el Área Metropolitana de Montevideo (AMM), bajo una estrategia orientada a mejorar la eficiencia del sistema de transporte de pasajeros, la accesibilidad territorial y la equidad social, con especial atención a los sectores de la población que presentan mayores niveles de vulnerabilidad y dependencia del transporte colectivo.

La consultoría se inscribe en las políticas públicas nacionales vinculadas al desarrollo sostenible, la mitigación y adaptación al cambio climático y la promoción de una movilidad urbana más inclusiva. En este sentido, el fortalecimiento del transporte público se reconoce como una herramienta clave para reducir desigualdades en el acceso a oportunidades urbanas, disminuir la dependencia del automóvil privado y mitigar los impactos ambientales asociados a la movilidad urbana.

En las últimas décadas, el AMM ha experimentado transformaciones territoriales significativas, caracterizadas por procesos de expansión urbana de baja densidad y un crecimiento sostenido del parque automotor. Estas dinámicas han incrementado las distancias de viaje y la presión sobre la infraestructura existente, generando efectos negativos sobre el funcionamiento de la red vial, la eficiencia operativa del transporte público y la calidad del espacio urbano. Como consecuencia, se observan mayores niveles de congestión, pérdida de velocidad comercial de los servicios de transporte colectivo y un deterioro progresivo de las condiciones ambientales y de seguridad vial, con impactos desiguales sobre los distintos sectores de la población.

En este contexto, el sistema de transporte público metropolitano ha registrado una disminución sostenida de su demanda y un deterioro en su percepción por parte de los usuarios. La evolución de los indicadores de uso muestra una caída estructural en la cantidad de viajes realizados, tanto en los servicios urbanos como suburbanos, tendencia que, si bien se vio acentuada por el impacto de la pandemia, responde a procesos previos asociados a problemas de confiabilidad, regularidad y competitividad del sistema frente al automóvil privado. Esta situación compromete la sostenibilidad operativa y financiera del transporte público y refuerza la necesidad de avanzar en intervenciones de carácter estructural.

El eje conformado por **Ruta 8 - Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre – Avenida 18 de Julio**, se identifica como uno de los corredores estructurantes más relevantes del sistema de movilidad metropolitano. Desde el punto de vista del transporte público, este eje concentra actualmente los mayores niveles de demanda



del sistema, lo que pone de manifiesto su rol central en la estructura de viajes del AMM y su carácter estratégico para la implementación de intervenciones de alto impacto.

Según estudios previos de prefactibilidad realizados anteriormente, se identificó al corredor **Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre** como el corredor con mayor demanda del sistema metropolitano, y el eje **Avenida Giannattasio – Avenida Italia**, correspondiente al tercer corredor con mayor volumen de viajes, considerando asimismo la convergencia de ambos en continuando de manera integrada en la prolongación hacia el centro de la ciudad a través de la Avenida 18 de Julio y su llegada a Ciudad Vieja.

En esos estudios se establecieron las bases **técnicas y conceptuales para la definición, priorización y caracterización de los corredores de alta capacidad en el AMM**, constituyendo un antecedente fundamental sobre el cual se apoyan los análisis de mayor nivel de detalle desarrollados en el marco del presente programa.

Frente a este escenario, el programa impulsado por el MTOP establece como **objetivo específico profundizar el análisis de alternativas orientadas a mejorar la eficiencia del sistema de transporte de pasajeros y la movilidad de personas en el AMM**, abordando de manera integrada los aspectos técnicos, urbanos e institucionales que inciden en su desempeño. Para la implementación de este objetivo, se previó la contratación de un conjunto de estudios complementarios, concebidos de forma articulada, que permitan evaluar distintas líneas de intervención y sus impactos.

En particular, el programa contempla el desarrollo de:

- **Estudios de Ingeniería**, orientados a profundizar el análisis de intervenciones identificadas como relevantes para la mejora del sistema de transporte
- **Estudios de Arquitectura**, destinados a desarrollar y evaluar propuestas de intervención urbana asociadas a dichas actuaciones.
- **Propuestas de alternativas para la mejora de la intervención pública en el sector**, orientadas al fortalecimiento del marco institucional y de gestión del transporte público.
- **Estudios de simulación de alternativas de transporte público por ómnibus y evaluación de sus impactos**, que permitan analizar comparativamente distintos escenarios de intervención.

Dentro de este marco programático, el presente trabajo se inscribe principalmente en el ámbito de los **estudios de simulación**, aportando criterios técnicos para la comparación de alternativas, la evaluación de impactos y la identificación de condiciones de implementación. El estudio tiene como finalidad generar **indicadores objetivos** que contribuyan al fortalecimiento de las capacidades técnicas e institucionales del MTOP para la toma de decisiones y la definición de **estrategias de mejora del transporte público sostenibles en el tiempo**.

El análisis se desarrolla sobre la base de las **premisas definidas en los antecedentes técnicos y trabajos realizados en los últimos años**, los cuales han conformado una base para la definición y priorización del corredor **Ruta 8 – Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre – Avenida 18 de Julio**.



1.2. Objetivos

La consultoría tuvo por objetivo la **evaluación del corredor segregado de ómnibus planificado para el eje Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de Julio y su extensión hacia Ciudad Vieja**, incluyendo las siguientes tareas principales:

- Construcción de **zonificación y matrices origen-destino** utilizadas para el diseño del corredor.
- Desarrollo del **análisis de marcha tipo del corredor**
- Elaboración de un **modelo de simulación de transporte público** que permita evaluar el proyecto de corredor segregado.
- Evaluación de un conjunto de **escenarios de servicios troncales y análisis de posibles retornos operacionales**.
- Análisis de la **saturación y acumulación de pasajeros en las paradas** que intervienen en el proyecto de corredor segregado.
- Análisis del **bus bunching o apelonamiento de vehículos** para 2 tramos del corredor.

1.3. Resumen metodológico

Con el fin de alcanzar los objetivos de la presente consultoría, el estudio se estructura a partir del siguiente resumen metodológico, en el que se sintetizan las etapas de trabajo desarrolladas.

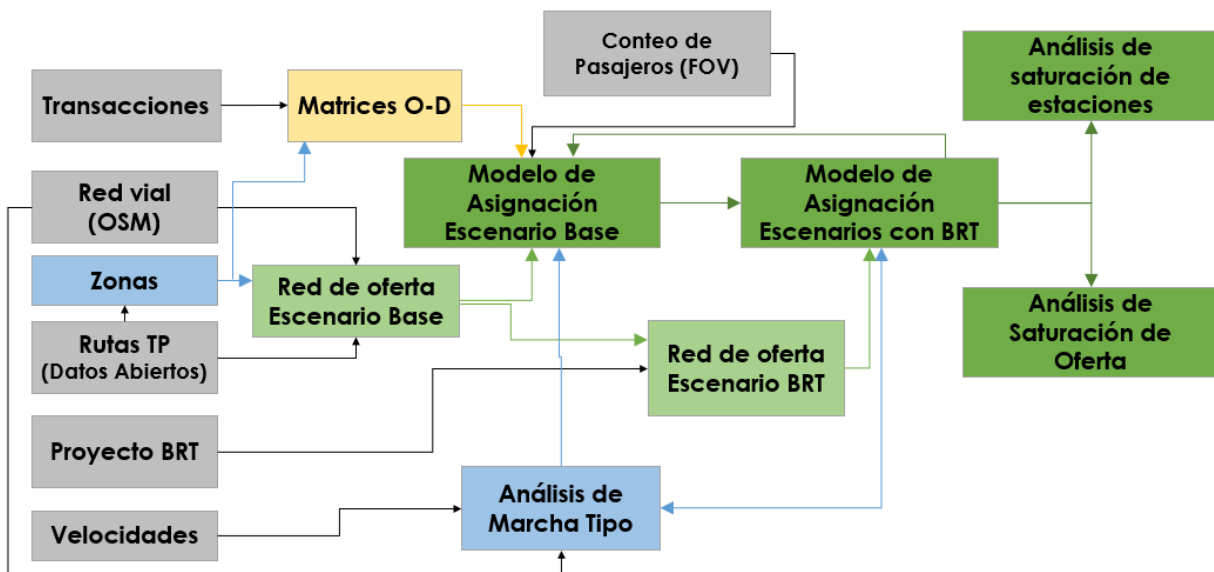


Figura 1. Resumen metodológico. Fuente: Elaboración propia.

La codificación por colores utilizada en el esquema se describe a continuación:

- Las cajas de color **gris** representan los **insumos** utilizados en las distintas etapas del estudio, provenientes principalmente de fuentes oficiales que permiten representar la oferta y demanda actual



del sistema de transporte público y del estudio de prefactibilidad base que permiten definir las características del sistema BRT propuesto (ver **capítulo 2**).

- Las cajas de **colores celeste o amarillo** corresponden a **productos intermedios** desarrollados para alimentar los modelos de simulación. Incluyen la **zonificación** (ver **capítulo 3**), **las matrices origen–destino de viajes** (ver **capítulo 4**) y el **análisis de marcha tipo** (ver **capítulo 7**).
- Las cajas de **color verde claro** representan la **red de oferta** correspondiente al **Escenario Base** (ver **capítulo 5**) y al **Escenario BRT** (ver **capítulo 6**).
- Finalmente, las cajas de **color verde oscuro** presentan los **productos principales de modelización**, incluyendo el **Modelo de Asignación del Escenario Base** (ver **capítulo 8**), **Modelo de Asignación Escenarios con BRT** (ver **capítulos 9 y 11**), el **Análisis de Saturación de Estaciones** (ver **capítulo 11**) y el **Análisis de Saturación de Oferta** (ver **capítulo 12**).



2. Insumos

Dentro de este apartado se presenta la información de base recepcionada o desacargada de la web, indicando el nombre de los archivos, un detalle asociado a su contenido y la extensión de los mismos.

La siguiente tabla expone la información que permite **representar la situación actual del sistema de transporte de ómnibus** urbanos de Montevideo y metropolitanos (STM), a partir del trazado de recorridos habilitados, y de datos asociados con la oferta y demanda.

Tabla 1. Insumos Transporte Público Urbano Montevideo y Metropolitano

NOMBRE ARCHIVOS	DETALLE CONTENIDO	EXTENSIÓN
v_uptu_lsv_destinos v_uptu_variante_no_maximal v_uptu_variantes_circulares	Recorridos de ómnibus del transporte colectivo urbano de Montevideo habilitados asociados a cada línea/variante. Descargado del catálogo de datos abiertos ¹ .	Shapefile
Recorridos_Metropolitanos	Recorridos de los ómnibus del Sistema de Transporte Metropolitanos (STM) habilitados de cada línea/variante. Descargado del catálogo de datos abiertos	Shapefile
Horarios_omnibus Uptu_pasada_circular Uptu_pasada_variante	Bases de datos que contienen, para el mes de julio 2025, los horarios de paso de ómnibus del transporte colectivo urbano de Montevideo por cada una de las paradas, indicando línea, variante y sentido (A/B)) según tipo de día (DH/SAB/DOM). Descargado del catálogo de datos abiertos.	csv
ETL_Pasadas_Puntos_Notables_MTOP_2024_10 ETL_Pasadas_Puntos_Notables_MVD_2024_10	Bases de datos que contiene para el mes de octubre 2024, el horario de pasada de cada una de las unidades de ómnibus urbanos de Montevideo y del STM, respectivamente, por cada punto notable, identificando información asociada al evento: fecha, hora, posición (código punto notable), datos de la unidad (línea, variante) Suministrado por la Intendencia de Montevideo	csv

¹ <https://catalogodatos.gub.uy/>



NOMBRE ARCHIVOS	DETALLE CONTENIDO	EXTENSIÓN
ETL_VENTA_Buses_MVD_2024_10_01-15 ETL_VENTA_Buses_MVD_2024_10_16-31 ETL_VENTA_Buses_MTOP_2024_10	Bases de datos que contienen, para el mes de octubre de 2024, las ventas/transacciones particularizadas , asociadas a cada evento registrado en las unidades del STM urbano de Montevideo (MVD) y Metropolitano (MTOP), identificando información asociada a la transacción: fecha, hora, posición (latitud y longitud transacción, código parada origen y destino), cantidad de pasajeros, tipo de transacción (tarjeta o boleto) y tarifa; datos de la unidad (empresa, línea, variante, interno, así como horario de salida real y programado de la unidad). Suministrado por la Intendencia de Montevideo	csv
Conteos NOV 2023	Conteos de pasajeros a bordo de las unidades urbanas y metropolitanas (FOV) que pasan por 9 puntos representativos del corredor Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de julio (Los Aromos, Intercambiador Belloni, Pan de Azucar, Centenario, Garibaldi, Tres Cruces, Beisso, Intendencia y Convención). Información provista para horas pico de la mañana en sentido entrante a Montevideo, y para horas pico de la tarde en sentido saliente, para el mes de noviembre de 2023. Suministrado por el Contratante.	xlsx

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la información asociada a las **características del proyecto del Corredor Ruta 8 - Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de julio** por donde circulará el nuevo sistema troncalizado de transporte, a la fecha de realización del informe se cuenta con la siguiente información suministrada por el Contratante, referida al **Estudio de Prefactibilidad Base**. La misma permite al equipo consultor tener un conocimiento acabado del Proyecto base en evaluación.

Tabla 2. Insumos Proyecto del Corredor Ruta 8 - Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de Julio.

NOMBRE ARCHIVOS	DETALLE CONTENIDO	EXTENSIÓN
Proyecto de Movilidad Metropolitana V30_07	Documento que contiene fundamentos, objetivos y justificación integral del proyecto de implementación del corredor BRT, presentando detalles de la infraestructura a considerar en los diferentes tramos	pdf



NOMBRE ARCHIVOS	DETALLE CONTENIDO	EXTENSIÓN
Planimetrías proyecto	Planimetría de diferentes sectores: Tres Cruces, túnel y superficie 18 de Julio, superficie 8 de Octubre y paradas, bajadas y soterramientos.	dwg
8 Octubre y Cno. Maldonado -22_5_24-	Presentación que contiene las principales características de la situación de partida de operación actual y de proyecto para el Corredor Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de julio por donde circulará el nuevo sistema troncalizado de transporte.	pptx
Paradas cv final	Localización de paradas del Corredor Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de julio por donde circulará el nuevo sistema troncalizado de transporte	kmz
Recorridos TP Modelos_Revisado V3	Identificación de nuevos recorridos para las líneas urbanas y metropolitanas que modificarán su recorrido con el nuevo sistema troncalizado de transporte	pptx
Ascensos y Transbordos troncal 8octubre 2_6_25	Estimación de cantidad de transbordos por parada en hora pico de la mañana (hora 8) en sentido entrante a Montevideo, y en hora pico de la tarde (hora 17) en sentido saliente. Identificación de líneas que presentarán “cortes” de recorrido indicando lugar.	xlsx
Frecuencias no cortan 8 de octubre	Información de servicios para las líneas que seguirán circulando por 8 de Octubre en sentido salida, y en sentido entrada, en vez de tomar 8 de Octubre usarán Rousear o Juanico. La información de cantidad de servicios se presenta en hora pico de la mañana (hora 8) en sentido entrante a Montevideo, y en hora pico de la tarde (hora 17) en sentido saliente.	xlsx
Cambios líneas 18 julio nuevo 28_6	Información de servicios y modificación de recorrido para las líneas que actualmente utilizan 18 de Julio. La información de cantidad de servicios se presenta en hora pico de la mañana (hora 8) en sentido entrante a Montevideo, y en hora pico de la tarde (hora 17) en sentido saliente.	xlsx

Fuente: Elaboración propia



3. Zonificación

Para el proceso de creación de zonas, se establecieron inicialmente dos criterios principales: i) la zonificación debe incorporar todas las áreas atendidas por las líneas que utilizan el corredor Ruta 8 – Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de Julio , incluyendo tanto el sistema de transporte colectivo urbano de Montevideo como también las líneas metropolitanas; y ii) permitir un mayor nivel de detalle, especialmente a lo largo del trazado previsto para el corredor del BRT. Todo el procesamiento de la información geográfica para la elaboración de la zonificación se realizó en el software QGIS. En la práctica, dada el rol estructurante que tiene ese eje de transporte en Montevideo, el primer criterio resultó en una delimitación del área de estudio que abarca prácticamente toda el área metropolitana.

Para atender el primer criterio, se generó un buffer de 200 m alrededor de las líneas de transporte colectivo, incluyendo las líneas urbanas (Figura 2 y Figura 3) y metropolitanas (Figura 4 y Figura 5). Estas nuevas áreas de buffer fueron luego unificadas, creando una única superficie capaz de abarcar todas las líneas, como se ilustra en la Figura 6 y Figura 7.





Figura 2. Resultado del buffer generado en las líneas urbanas – vista general. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Resultado del buffer generado en las líneas urbanas – corredor del BRT. Fuente: Elaboración propia.



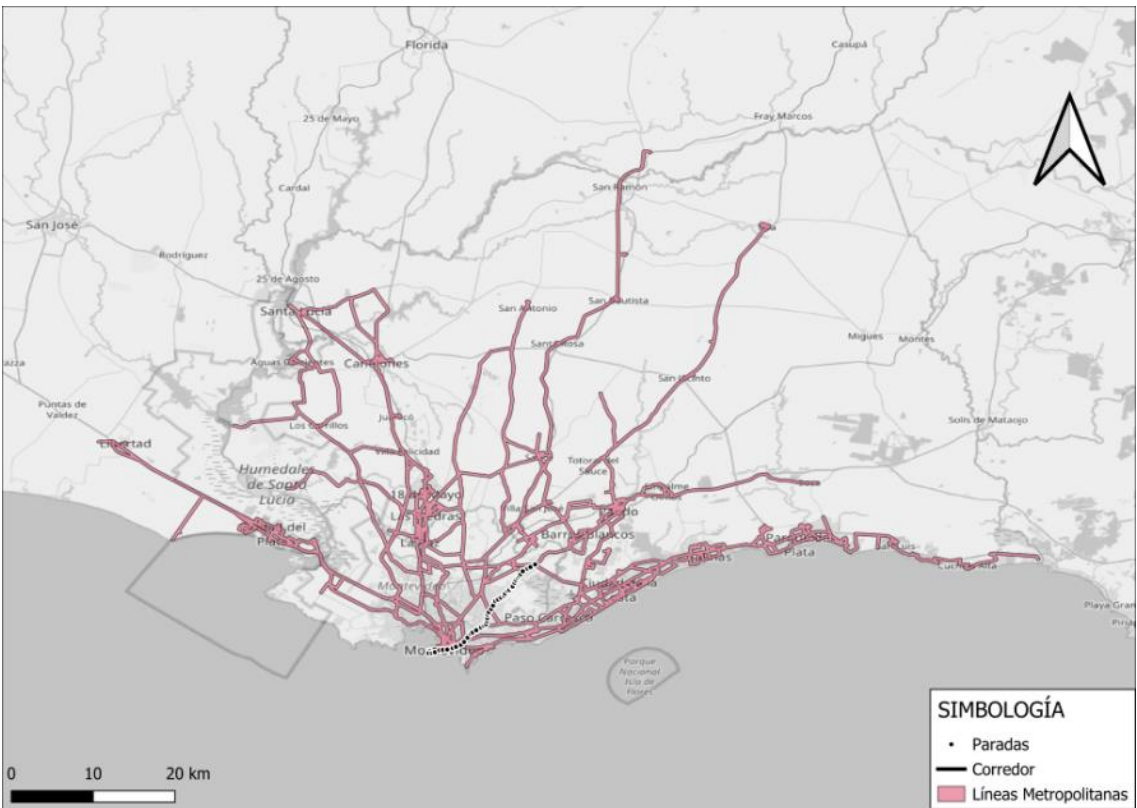


Figura 4. Resultado del buffer generado en las líneas metropolitanas – vista general. Fuente: Elaboración propia.

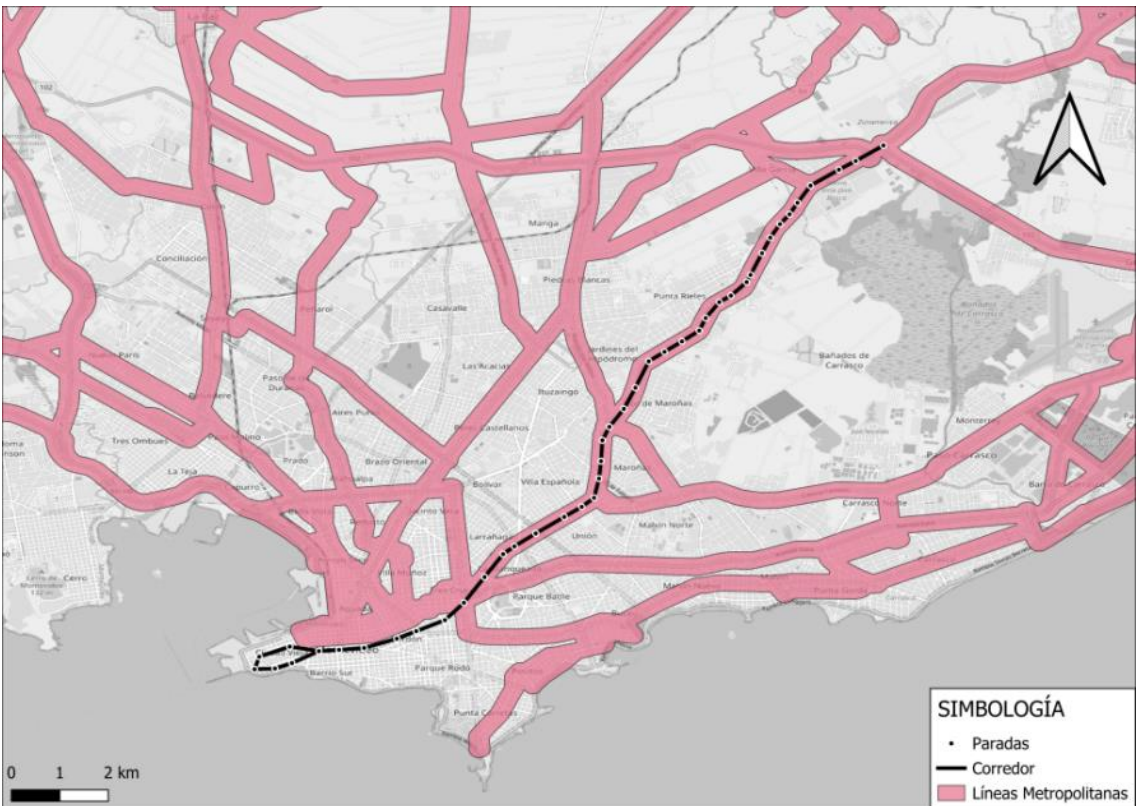


Figura 5. Resultado del buffer generado en las líneas metropolitanas – corredor del BRT. Fuente: Elaboración propia.





En cuanto al segundo criterio, se generaron áreas anulares con dimensiones crecientes a partir de buffers alrededor de las paradas del sistema de BRT, según lo ilustrado en las Figuras 8 y 9. Las dimensiones de buffers adoptadas fueron: 315 m, 625 m, 1,25 km, 2,50 km, 5,00 km, 10,00 km, 20,00 km, 30,00 km, 40,00 km, 50,00 km, 60,00 km y 70,00 km. Posteriormente, el área única creada en la etapa anterior fue recortada siguiendo las delimitaciones de estos anillos. De esta manera, cuanto más próximo al corredor, menores son las dimensiones de las zonas, permitiendo un mayor nivel de detalle.

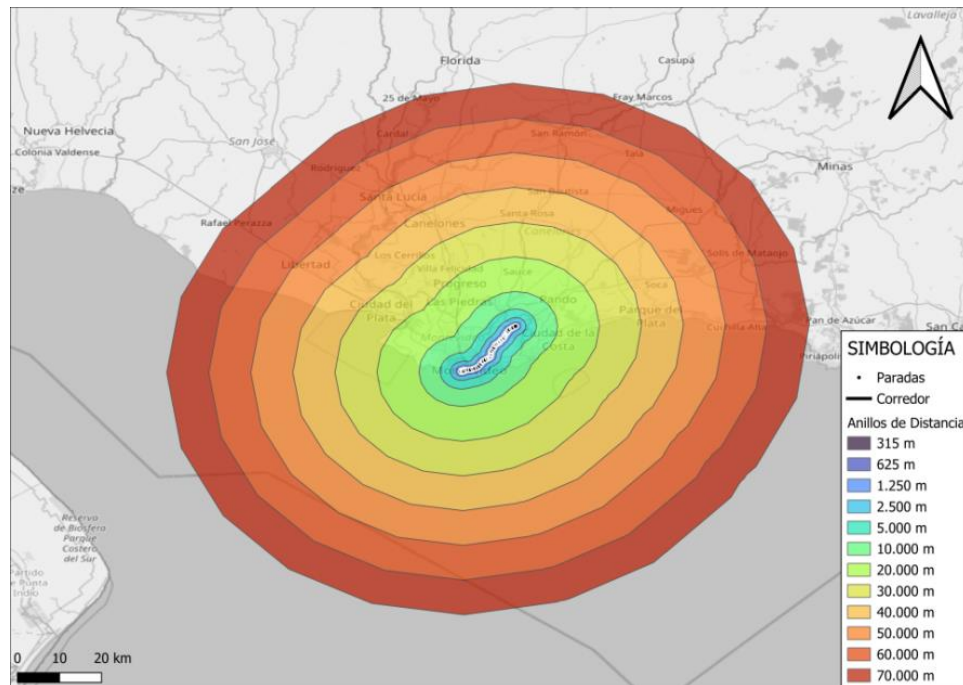


Figura 8. Anillos con áreas crecientes alrededor de las paradas del sistema de BRT – vista general. Fuente: Elaboración propia.

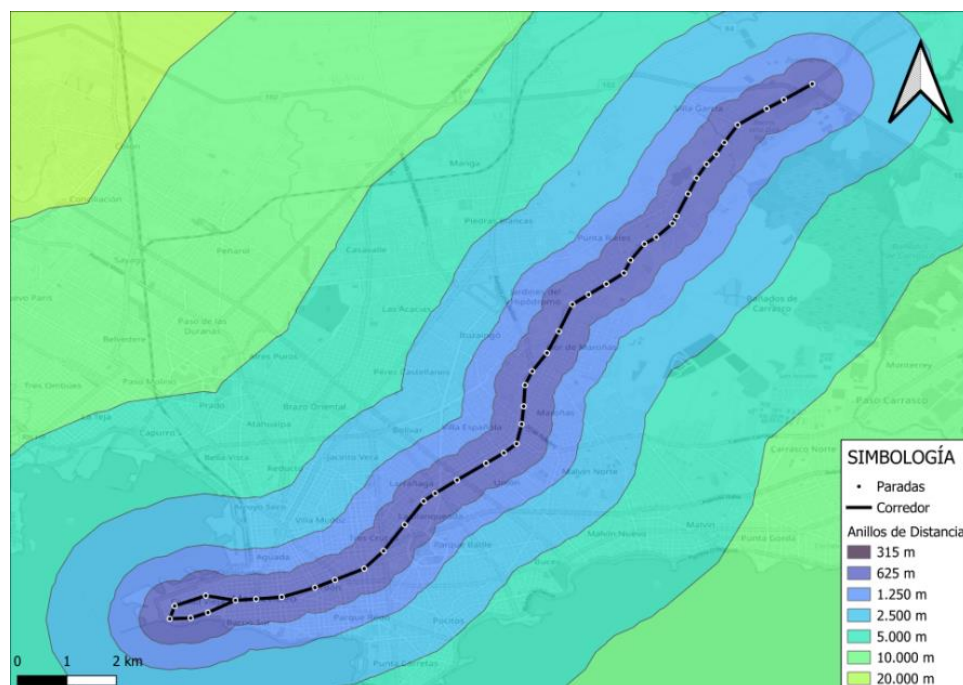
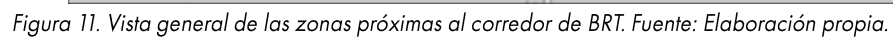
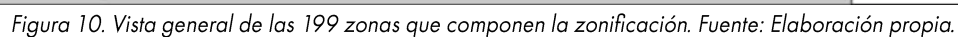


Figura 9. Anillos con áreas crecientes alrededor de las paradas del sistema de BRT – vista del BRT. Fuente: Elaboración propia.



Las áreas resultantes fueron subdivididas manualmente, considerando en cada zona la incidencia de los ejes viales y la localización de las paradas de ómnibus en términos de representación espacial de la oferta y la demanda en la modelización. Este proceso dio como resultado una zonificación compuesta por 199 zonas, según lo ilustrado en la Figura 10 y Figura 11. Se observa en la Figura 11 que cada estación del sistema de BRT se encuentra individualmente localizada dentro de una zona. Asimismo, en dicha figura puede apreciarse que las zonas próximas al corredor presentan dimensiones (áreas) menores, mientras que estas aumentan de tamaño a medida que se alejan del mismo. Esta configuración permite una mejor evaluación de las cargas en el sistema de transporte simulado.





4. Matrices origen-destino

El procesamiento de las bases de información correspondientes a las transacciones de venta de boletos del sistema de transporte de pasajeros —incluyendo las líneas urbanas y metropolitanas—, así como el proceso de construcción de la matriz Origen–Destino (OD), se realizaron utilizando el lenguaje de programación R, a través de su entorno de desarrollo integrado (IDE) RStudio.

RStudio es un IDE diseñado específicamente para el lenguaje R, ampliamente utilizado en análisis estadístico y visualización de datos, que ofrece herramientas tales como consola interactiva, editor de código, funciones de trazado, depuración y gestión del espacio de trabajo, facilitando el desarrollo y control de los procesos de análisis.

Una de las principales ventajas de este lenguaje de programación es su carácter gratuito y de código abierto, lo que favorece la transparencia y la replicabilidad de los procesamiento a partir de los scripts desarrollados, los cuales podrán ser puestos a disposición de las contrapartes institucionales para su eventual reutilización.

A partir de la información base, la utilización de R permite el desarrollo de distintos *data frames* y vectores necesarios para la construcción de subbases de datos, el análisis de la información y la evaluación de los resultados, garantizando la precisión y fiabilidad de los mismos. Para ello, se realiza una caracterización inicial de los metadatos contenidos en las bases, que permite seleccionar los agrupamientos más adecuados de las variables esenciales para explicar el comportamiento de la demanda.

4.1. Generación de mes representativo o típico (MT)

Se recibieron las bases de información correspondientes a las transacciones de venta de boletos del Sistema de Transporte Metropolitano (STM) y del sistema de colectivos urbano de pasajeros para el mes de octubre de 2024. El total de pasajeros registrados en dicho mes ascendió a 31.398.692, de los cuales 4.247.102 correspondieron al sistema metropolitano y 27.151.590 al sistema urbano.

Con el objetivo de evaluar la dinámica y las fluctuaciones diarias de los pasajeros, se analizó la distribución diaria de la demanda en el sistema. A partir de esta evaluación fue posible identificar las tendencias en la magnitud de uso del sistema durante los días hábiles, los fines de semana y días no hábiles o con irregularidades en la operación. En la Figura 12 se presenta la distribución diaria de pasajeros correspondiente al mes analizado.



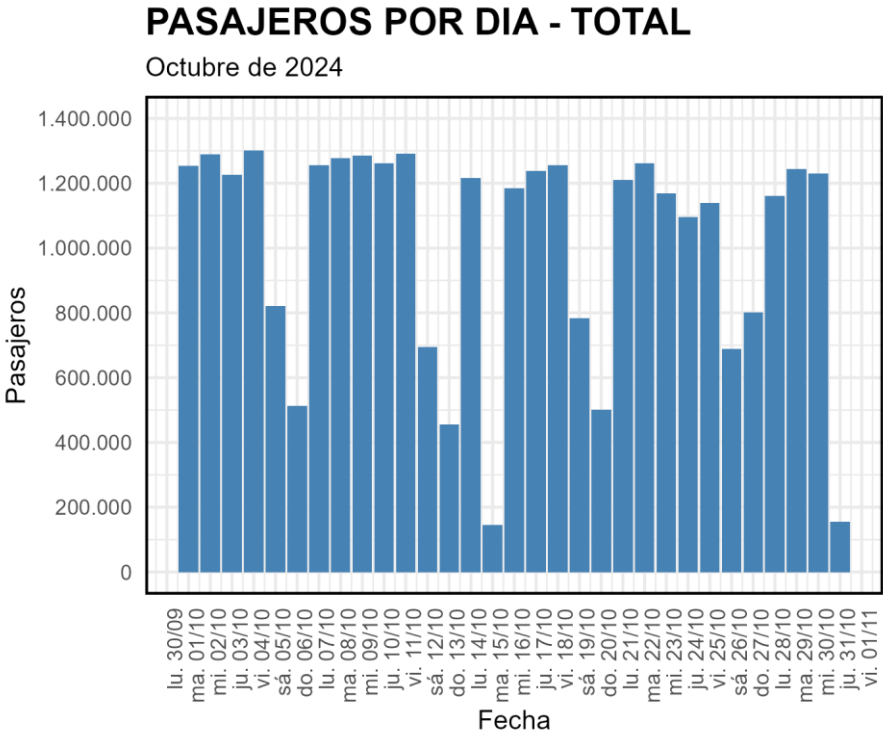


Figura 12. Pasajeros por día. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.

Asimismo, se realizó una evaluación de la distribución de pasajeros desagregada por sistema, con el fin de determinar si la variación diaria mensual en la cantidad de pasajeros de cada subsistema se comporta de manera similar a la observada para el sistema en su conjunto (tal como se muestra en la Figura 12). La Figura 13 presenta los resultados obtenidos.

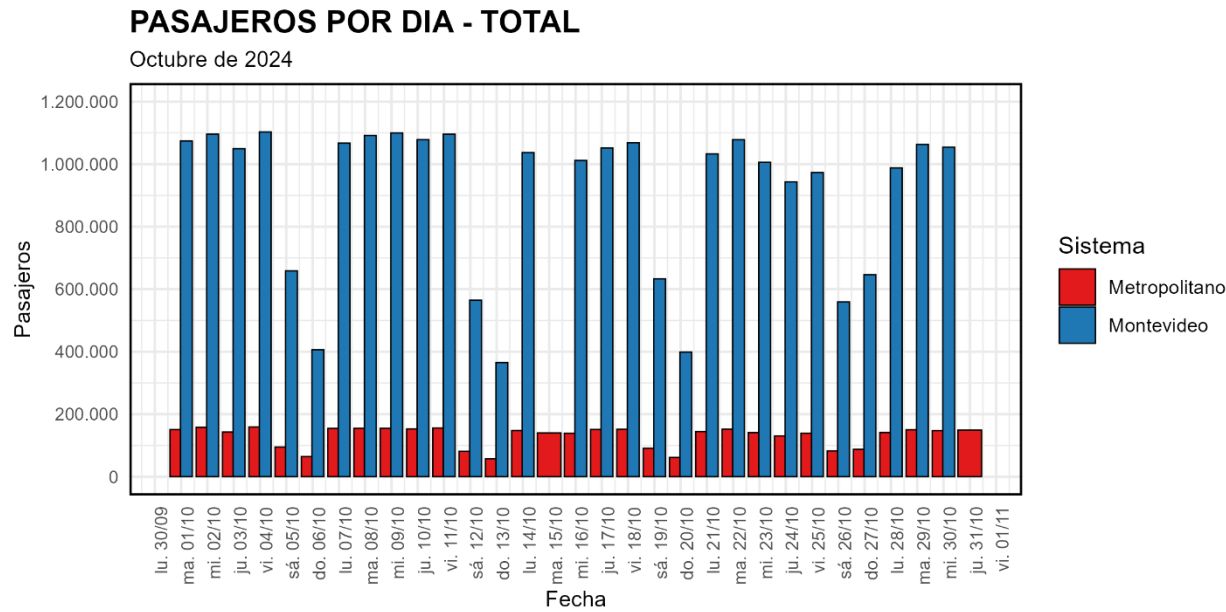


Figura 13. Pasajeros por día/sistema. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.



El análisis de las variaciones diarias de pasajeros en el sistema de transporte permitió identificar la existencia de días atípicos, los cuales presentan caídas o incrementos significativos en la demanda del sistema. A continuación, se presenta la lista de días atípicos detectados:

- La caída abrupta de la demanda observada los días 15/10/2024 y 31/10/2024 en la Figura 12 se debe a la ausencia de registros en la base de boletería del sistema de colectivo urbano de Montevideo, lo cual puede corroborarse en la Figura 13.
- El día 27/10/2024, domingo, se registró un incremento de la demanda debido a las elecciones presidenciales y parlamentarias en Uruguay.
- La semana previa a las elecciones presentó una variación atípica de la demanda, con una caída a partir del miércoles 23/10/2024, lo que no ocurrió en las demás semanas. Un comportamiento similar se observó el lunes 28/10/2024, posterior a las elecciones, que constituyó el lunes con menor demanda en todo el mes.

Con el fin de generar una representatividad de los días “típicos” de operación del sistema, se acordó con la contraparte técnica la construcción de un mes representativo o “típico” (MT), integrado únicamente por los días de operación sin demanda atípica, comprendidos entre el 01 y el 14/10 y entre el 16/10 y el 22/10, como se muestra en la Figura 14. De esta forma, la subbase del MT se conforma por 15 días hábiles (3 lunes, 3 martes, 3 miércoles, 3 jueves y 3 viernes), 3 sábados y 3 domingos.

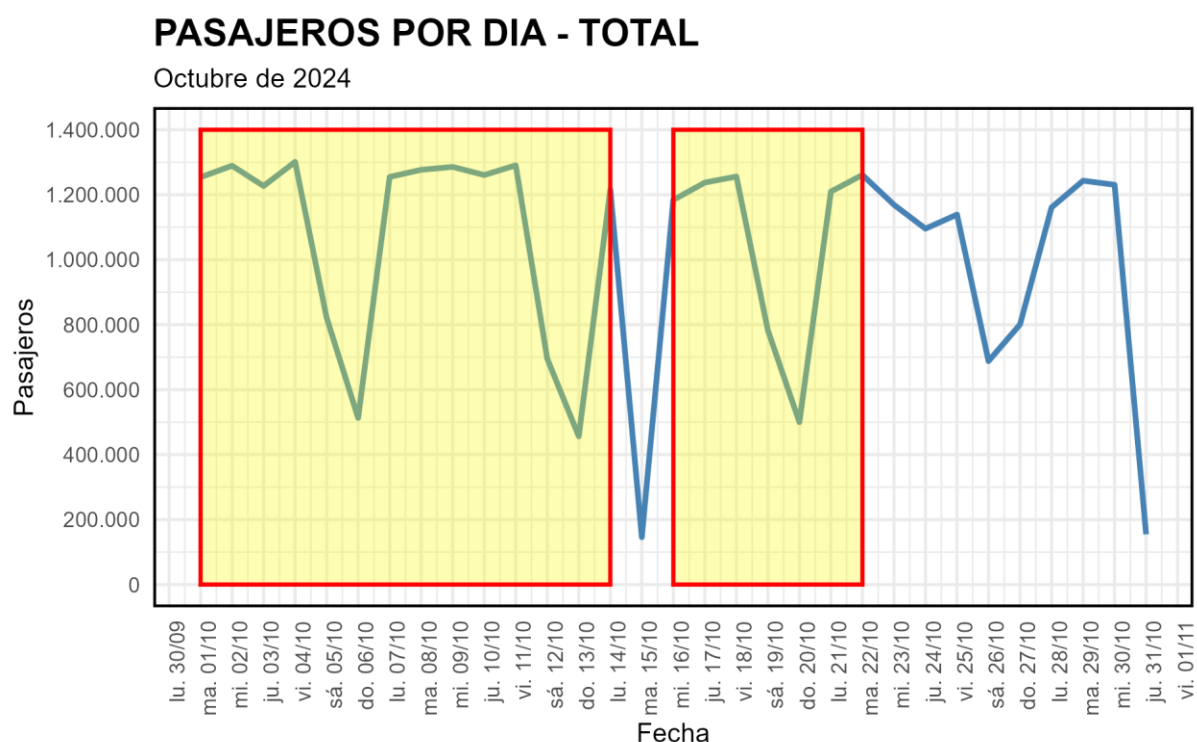


Figura 14. Selección de días típicos para construir el MT. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.



Finalmente, a partir del valor promedio de pasajeros transportados diariamente por cada día de la semana, se comparó la magnitud de los resultados de la muestra MT con los valores de la base de transacciones, tal como se ilustra en la Figura 15. La Figura 16 presenta un *boxplot* de la distribución de la cantidad de pasajeros por cada día de la semana, aplicado también a estas dos bases de datos. Con este análisis se puede observar que el MT posee una mayor constancia durante la totalidad de la semana, permitiendo que días atípicos no afecten las evaluaciones futuras. De los resultados se desprenden que el sistema presenta en media 1.253.557 pasajeros por día hábil, 766.348 por sábado y 489.707 pasajeros por domingo.

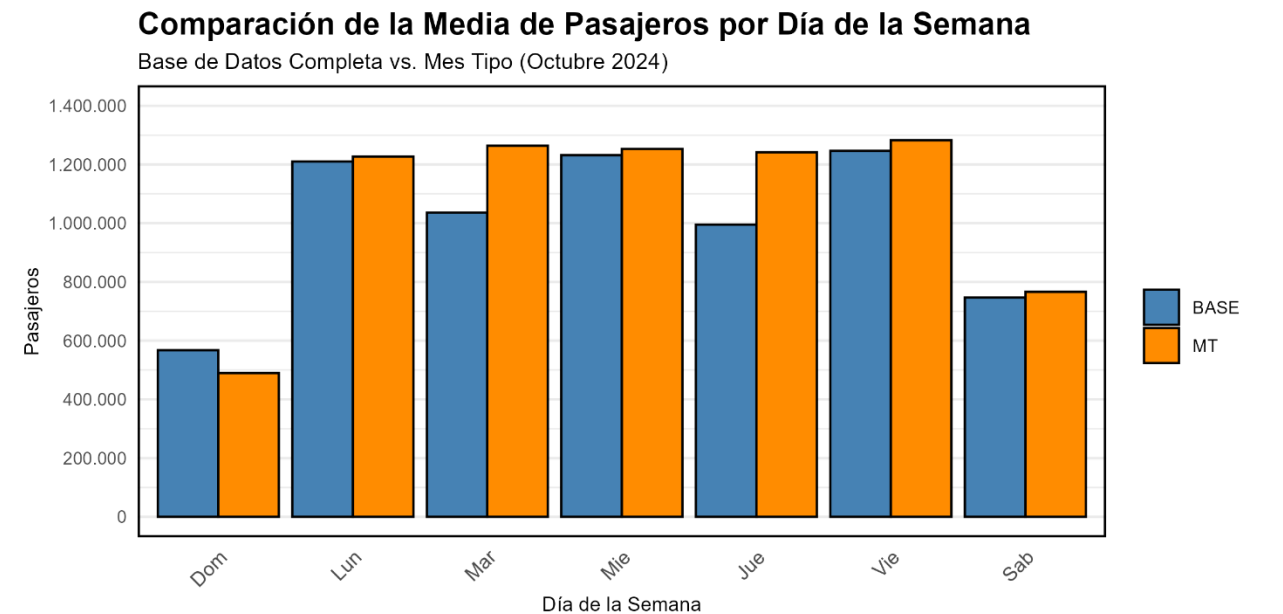


Figura 15. Pasajeros promedio por día de la semana para la muestra MT y para la base de boletería. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.

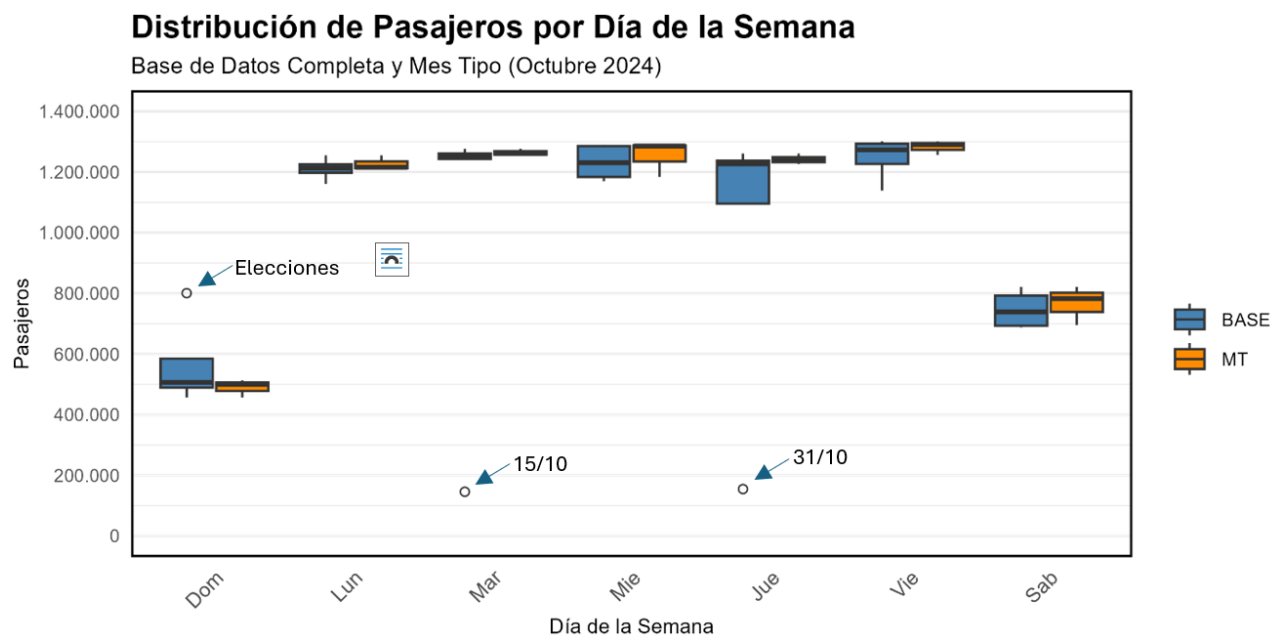


Figura 16. Distribución de los pasajeros por día de la semana para la muestra MT y para la base de boletería. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.



4.2. Determinación de los factores de expansión

4.2.1. Determinación de agrupamientos horarios

Con el objetivo de identificar los períodos críticos de mayor demanda a lo largo del día, se realizó una agregación del número de pasajeros por hora, información que será utilizada posteriormente en la construcción de las matrices origen-destino (OD). Para definir estos agrupamientos horarios, se analizó la distribución promedio de pasajeros por hora en los días hábiles del “MT”, conforme se presenta en la Figura 17. Con el fin de validar los resultados obtenidos a partir de la muestra, el análisis incorpora también los promedios horarios de pasajeros de los días hábiles calculados a partir de la base completa de billeteaje. Como se puede observar, esta agrupación clasifica las horas del día en siete períodos, denominados de la siguiente manera:

- Periodo Madrugada (MAD): de 0 a 7 h;
- Periodo Pico Mañana (PPM): de 7 a 9 h;
- Periodo Entre Pico Mañana (EPM): de 9 a 12 h;
- Periodo Pico Almuerzo o mediodía (PPA): de 12 a 14 h;
- Periodo Entre Pico Tarde (EPT): de 14 a 16 h;
- Periodo Pico Tarde (PPT): de 16 a 18 h;
- Periodo Nocturno (NOC): de 18 a 24 h.

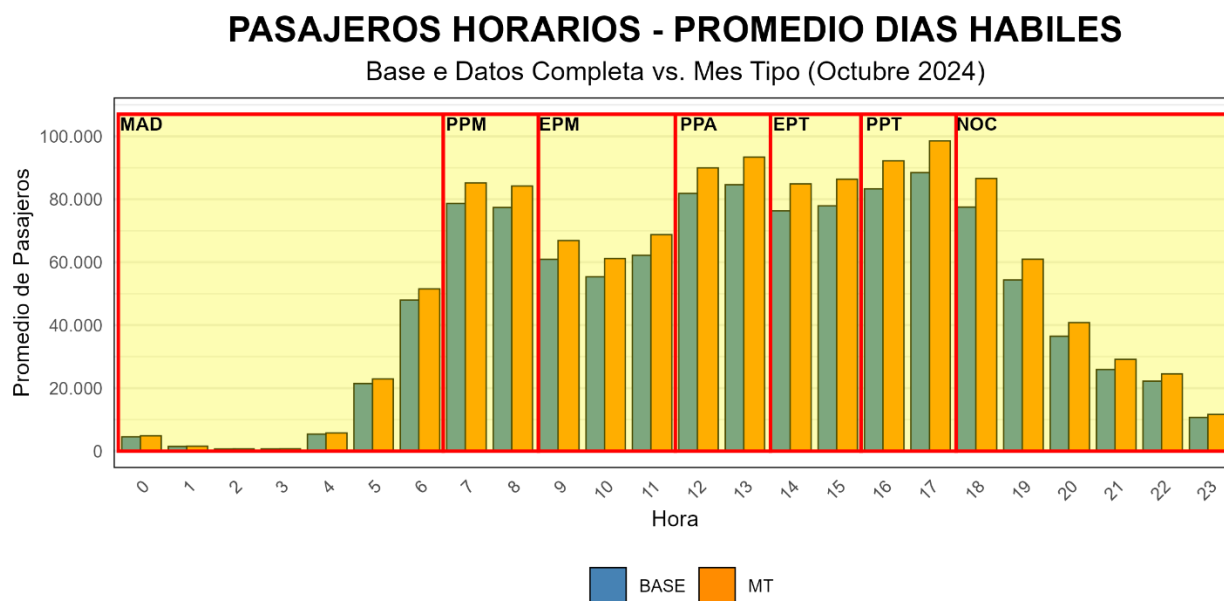


Figura 17. Distribución de periodos horarios de análisis según la demanda de pasajeros en el sistema. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.



Del análisis de esta información se observa que el sistema de transporte presenta tres picos horarios claramente definidos en días hábiles: de 7h a 9h en la mañana, de 12h a 14h al mediodía y de 16h a 18h en la tarde. Estos periodos concentran la mayor demanda de pasajeros en el sistema durante un día hábil promedio, constituyéndose así en los intervalos críticos para el análisis y la planificación de la operación.

Otro análisis temporal relevante consiste en la identificación de los 60 minutos más críticos dentro de los periodos pico. Esta evaluación resulta fundamental para la determinación de los factores de hora pico que serán aplicados posteriormente en la construcción de las matrices OD correspondientes a dichos intervalos.

Para ello, a partir de la base del MT, se calcularon los valores diarios de pasajeros para cada intervalo de 1 hora dentro de cada periodo. Los intervalos considerados fueron: de 7:00 a 8:00, de 7:30 a 8:30 y de 8:00 a 9:00 para el PPM; de 12:00 a 13:00, de 12:30 a 13:30 y de 13:00 a 14:00 para el PPA; y de 16:00 a 17:00, de 16:30 a 17:30 y de 17:00 a 18:00 para el PPT. Posteriormente, se obtuvieron los promedios diarios de pasajeros para cada intervalo en cada periodo, los cuales se presentan en la Figura 18 para el PPM, en la Figura 19 para el PPA y en la Figura 20 para el PPT.

De este análisis se observa que, en el caso del PPM, el subsistema metropolitano concentra su mayor demanda en el intervalo de 7:00 a 8:00, mientras que en el subsistema urbano de Montevideo el pico se registra entre las 7:30 y las 8:30. Para el PPA, la hora crítica ocurre entre las 12:30 y las 13:30, mientras que para el PPT el mayor volumen de pasajeros se verifica entre las 17:00 y las 18:00.

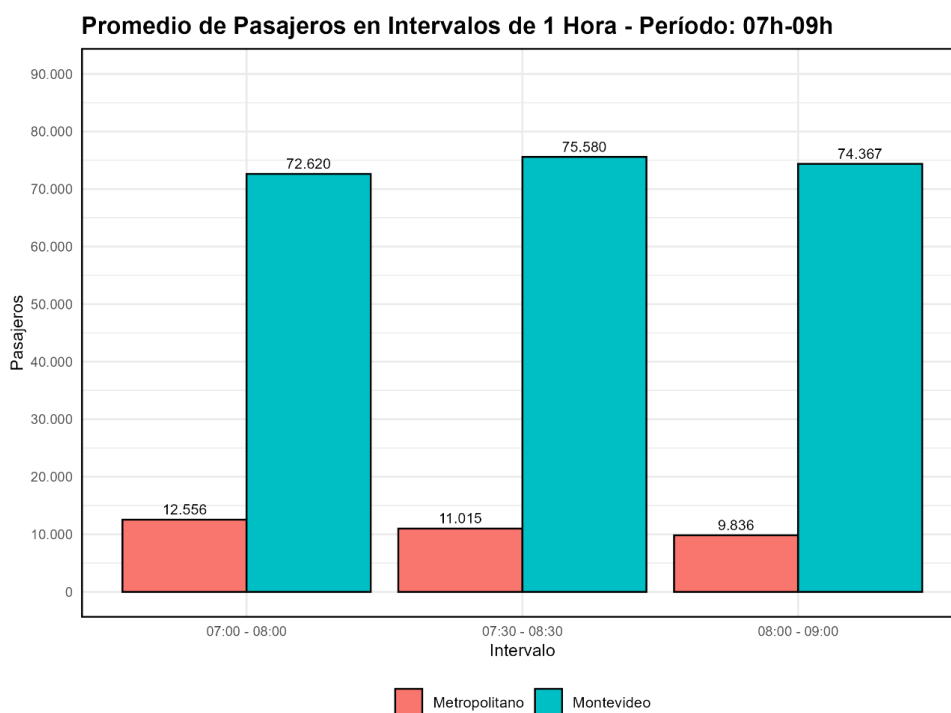


Figura 18. Promedio diario de pasajeros por intervalos de 60 minutos en el Período Pico de la Mañana (PPM). Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.



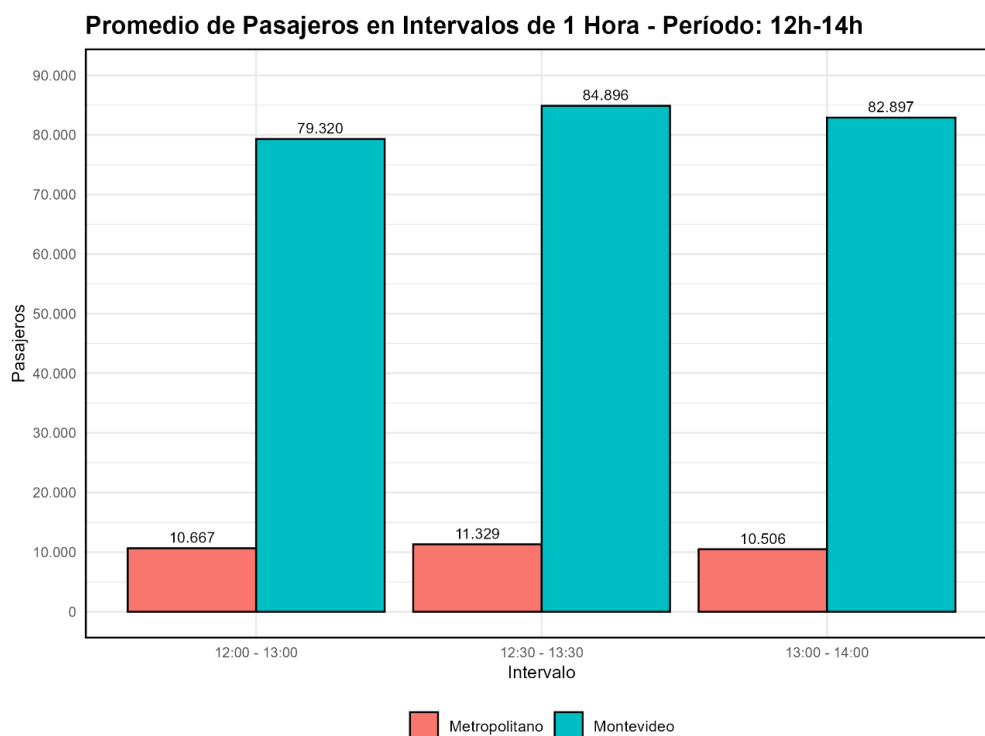


Figura 19. Promedio diario de pasajeros por intervalos de 60 minutos en el Período Pico del Mediodía (PPA). Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.

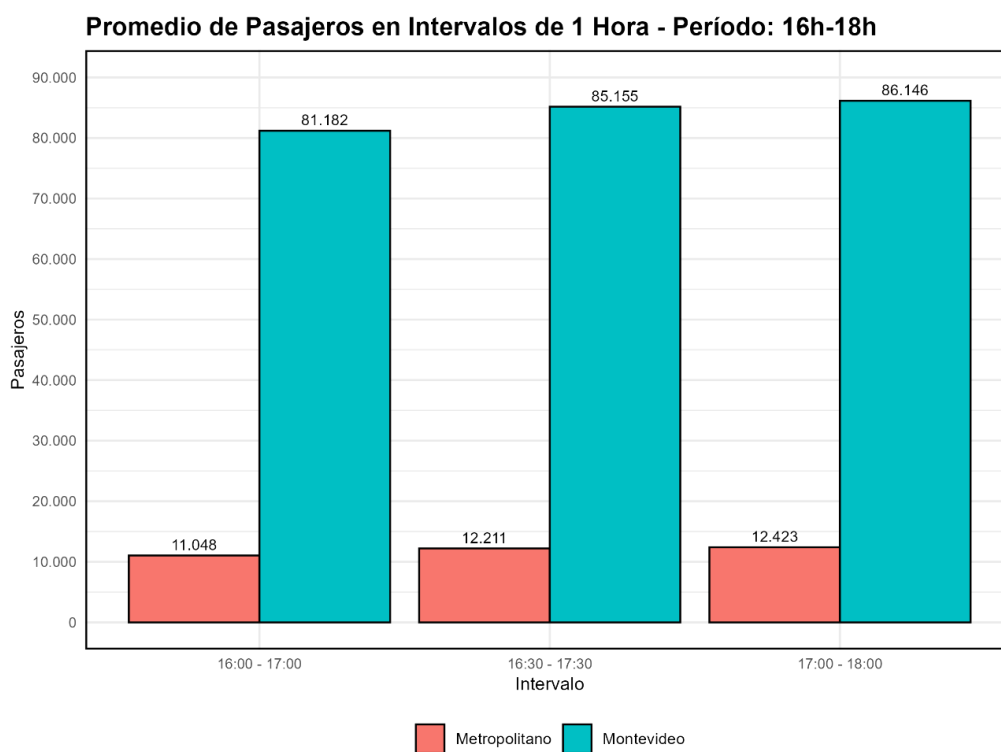


Figura 20. Promedio diario de pasajeros por intervalos de 60 minutos en el Período Pico de la Tarde (PPT). Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.



A partir de la hora crítica definida para cada subsistema, se calcularon los Factores de Hora Pico (FHP) para cada línea. El FHP se obtiene a partir de la razón entre el número de pasajeros transportados en una línea durante la hora pico y el total de pasajeros de esa misma línea en el período de pico correspondiente. La Figura 21 presenta la distribución de los FHP calculados por línea, agrupados según la hora pico considerada. Los valores promedio obtenidos fueron de 0,548 para el HPM, 0,517 para el HPA y 0,542 para el HPT.

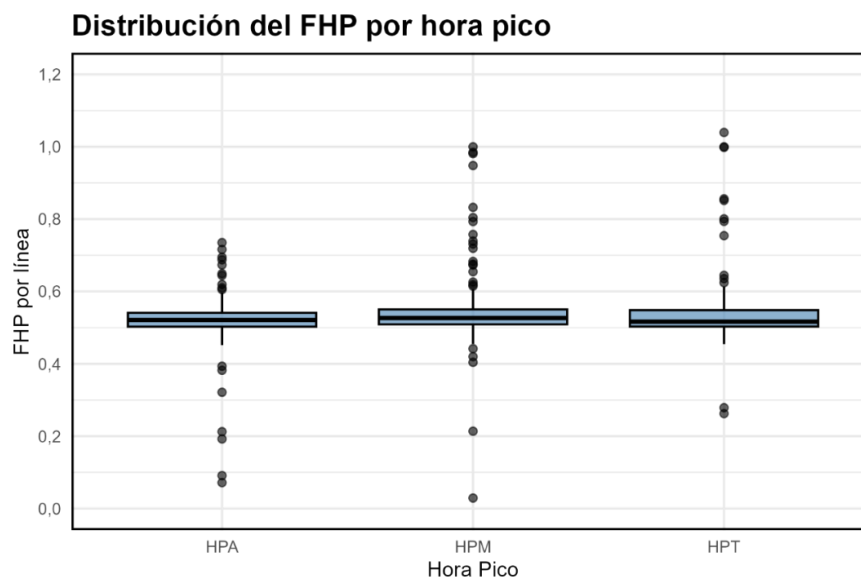


Figura 21. Distribución de los Factores de Hora Pico (FHP) por línea, agrupados según el período de pico. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.

4.2.2. Procesamiento y depuración de datos

El proceso de construcción de las matrices de viajes del sistema de transporte utilizó como fuente principal de información la base de datos de ventas elaborada para el mes típico (MT). No obstante, esta base requiere un proceso de depuración y procesamiento para generar una subbase adecuada y compatible con la construcción de las matrices OD. Cabe destacar que es necesario evaluar estrategias que permitan utilizar la mayor cantidad posible de registros de ventas como muestra, manteniendo la representatividad de la base inicial. A continuación, se presentan las definiciones adoptadas para el procesamiento de la base MT y la determinación de orígenes y destinos.

La base MT está compuesta por 21.786.685 registros de ventas, de los cuales 18.308.688 (84% del MT) corresponden a días hábiles. Posteriormente, se seleccionaron los eventos realizados con tarjetas (16.130.546, 74% del MT), dado que son los únicos que permiten rastrear el desplazamiento de los pasajeros a lo largo del día. Como el modelado de demanda tiene como objetivo evaluar la demanda en el corredor de BRT, se seleccionaron los eventos de boletería correspondientes a las variantes que operan en la región del BRT en estudio, previamente definidas para la modelación (según se detalla más adelante en este informe). De este análisis, se obtuvo una subbase con 13.464.497 eventos (61% del MT).

Como principal fuente de georreferenciación de cada evento de venta se utilizó la ubicación de la parada de origen (campo PARADA_ORIGEN_CODIGO). No obstante, se detectaron paradas que no estaban incluidas



en la base georreferenciada proporcionada. Estas se eliminaron, quedando 13.430.209 eventos (62%). De este modo, fue posible contar con cada evento correctamente referenciado.

La etapa siguiente consistió en verificar la cantidad promedio de usos diarios por tarjeta. Durante el análisis, se observaron valores que varían entre 1 y 104 usos diarios. Con el fin de definir un límite superior, se elaboró el histograma del promedio de usos diarios por tarjeta, presentado en la Figura 22. Así, se estableció un valor límite de 10 usos diarios, abarcando el 99,9% de las tarjetas. Tras esta depuración, la subbase final quedó conformada por 13.298.218 eventos (61% del MT).

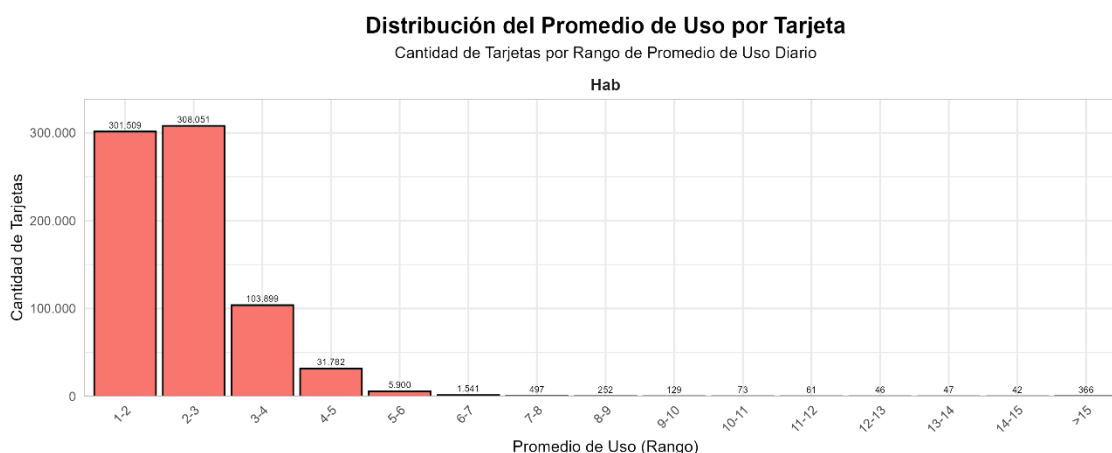


Figura 22. Histograma del promedio de uso por tarjeta. Fuente: Elaboración propia en base a datos aportados.

Para fines de generar la matriz semilla de muestreo de pares origen-destino una de las etapas previas de tratamiento de los datos se refiere a los registros de eventos correspondientes a posibles cadenas multietapa. Se eliminaron las transacciones que presentaban un intervalo menor a 60 minutos entre sí, ya que corresponden a transacciones adicionales de un mismo viaje. Este criterio permitió excluir las transacciones correspondientes a transbordos, porque si no se toma ese cuidado lo que debería ser un viaje completo de origen a destino termina “cortándose” en dos, o sea, transformándose en dos viajes (el primero con destino en el lugar del transbordo, y el segundo con origen en ese mismo lugar). A continuación, también se eliminaron los eventos relacionados con tarjetas que registraban únicamente una transacción en el día. Como resultado de este procesamiento, la base de eventos final quedó conformada por 8.562.056 registros, equivalentes al 53% del total de eventos del mes típico.

Posteriormente, se vinculó la parada de origen con la capa de zonas, generándose el campo “ZONA_O”. Para definir la zona de destino de cada tramo, los eventos fueron agrupados utilizando la información de la tarjeta y el día del evento, considerando que:

- Si se trata del último registro del día, el destino corresponde al primer origen del día.
- En caso contrario, el destino corresponde al origen del tramo siguiente.



4.2.3. Cálculo de los factores de expansión

A partir de la base muestral con los viajes y las zonas de origen y destino ya definidas, la siguiente etapa consistió en el cálculo de los factores de expansión. Los factores de expansión se obtienen utilizando la media de pasajeros en días hábiles para cada línea y periodo en la base muestral, dividida por la suma total de pasajeros para cada línea y periodo en el MT. Este procedimiento hace que los factores de expansión sean menores a 1, pudiendo superarlo únicamente cuando exista subcaptura de pasajeros dentro de la muestra construida.

Para validar los factores de expansión calculados por línea y periodo, se realizó un análisis de sus distribuciones con el objetivo de identificar posibles subcapturas significativas en el conjunto de datos. De este análisis se constató que el 99% de los factores de expansión se encuentra por debajo de 1 y solo el 1% supera dicho valor. La Figura 23 presenta un gráfico con la distribución de estos factores de expansión.

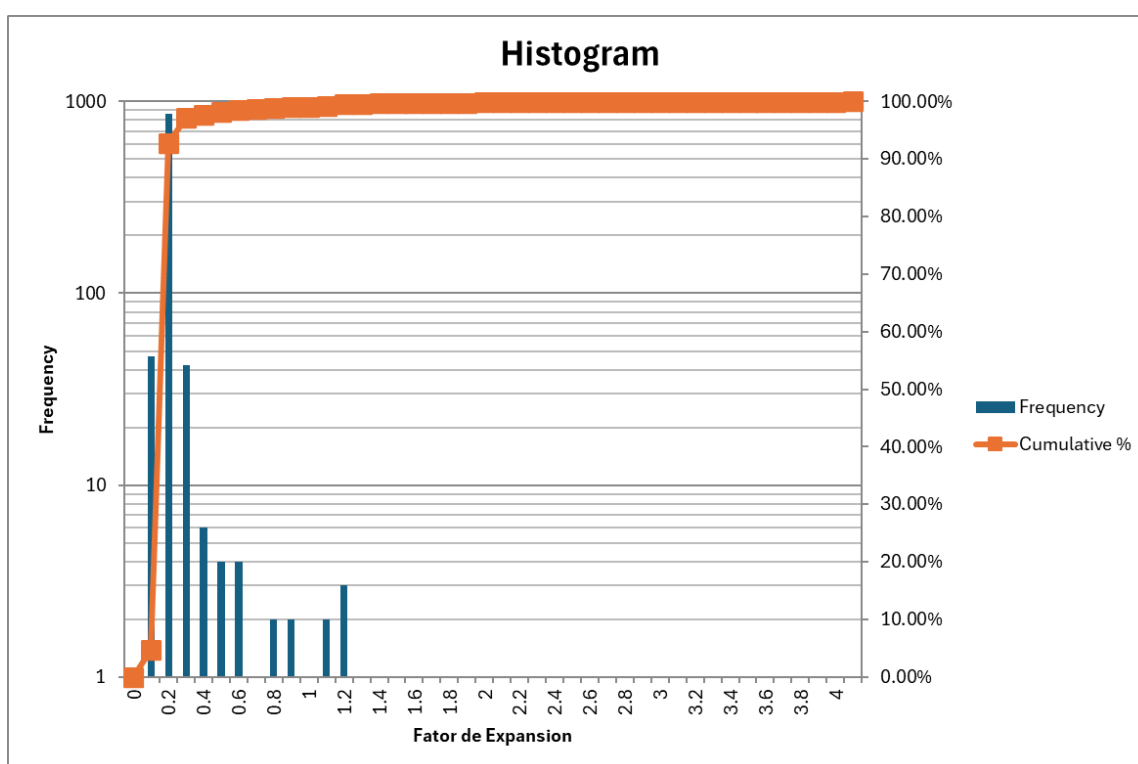


Figura 23. Distribución de los factores de expansión por línea y periodo. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Matrices origen-destino de viajes

A partir de la base procesada y con los factores de expansión ya calculados, se procedió a la construcción de las matrices OD de viaje, tanto para el sistema total como para cada subsistema (metropolitano y urbano). Dichas matrices fueron elaboradas para la hora pico de la mañana (HPM), la hora pico de la tarde (HPT) y para el total del día hábil (DH). A continuación, se presentan los mapas de densidad de orígenes y destinos para la HPM y la HPT, elaborados a partir de las matrices OD.



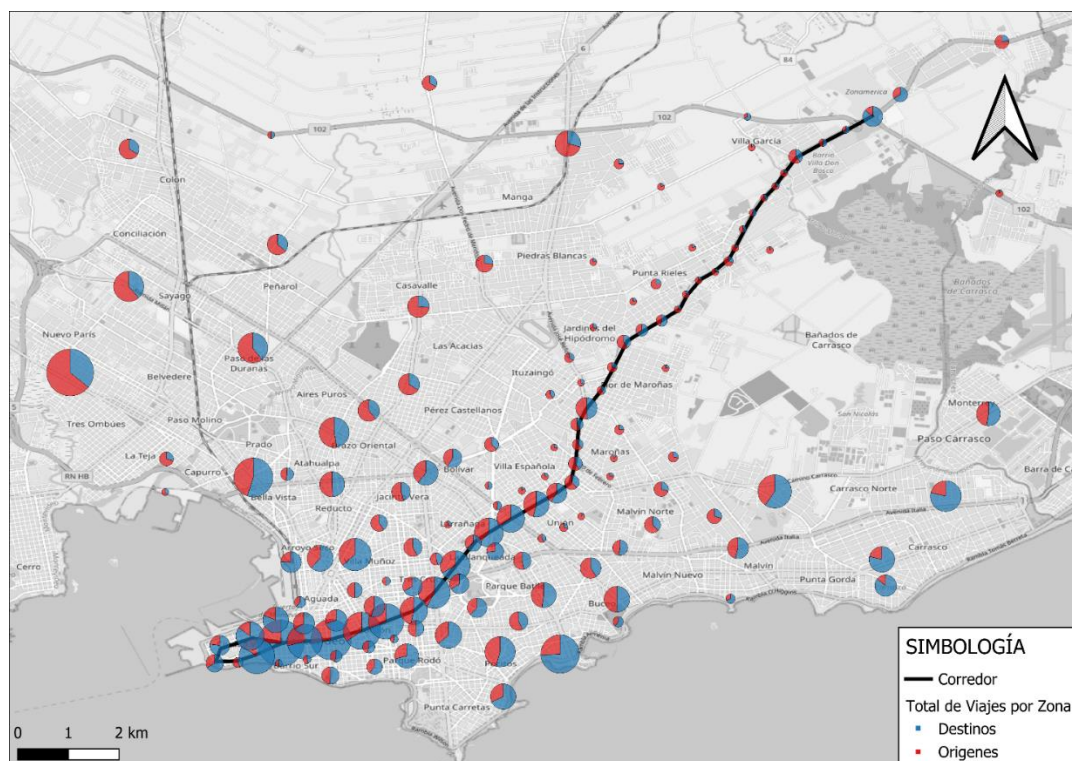


Figura 24. Total de viajes por zona - Matriz OD HPM – vista BRT. Fuente: Elaboración propia.

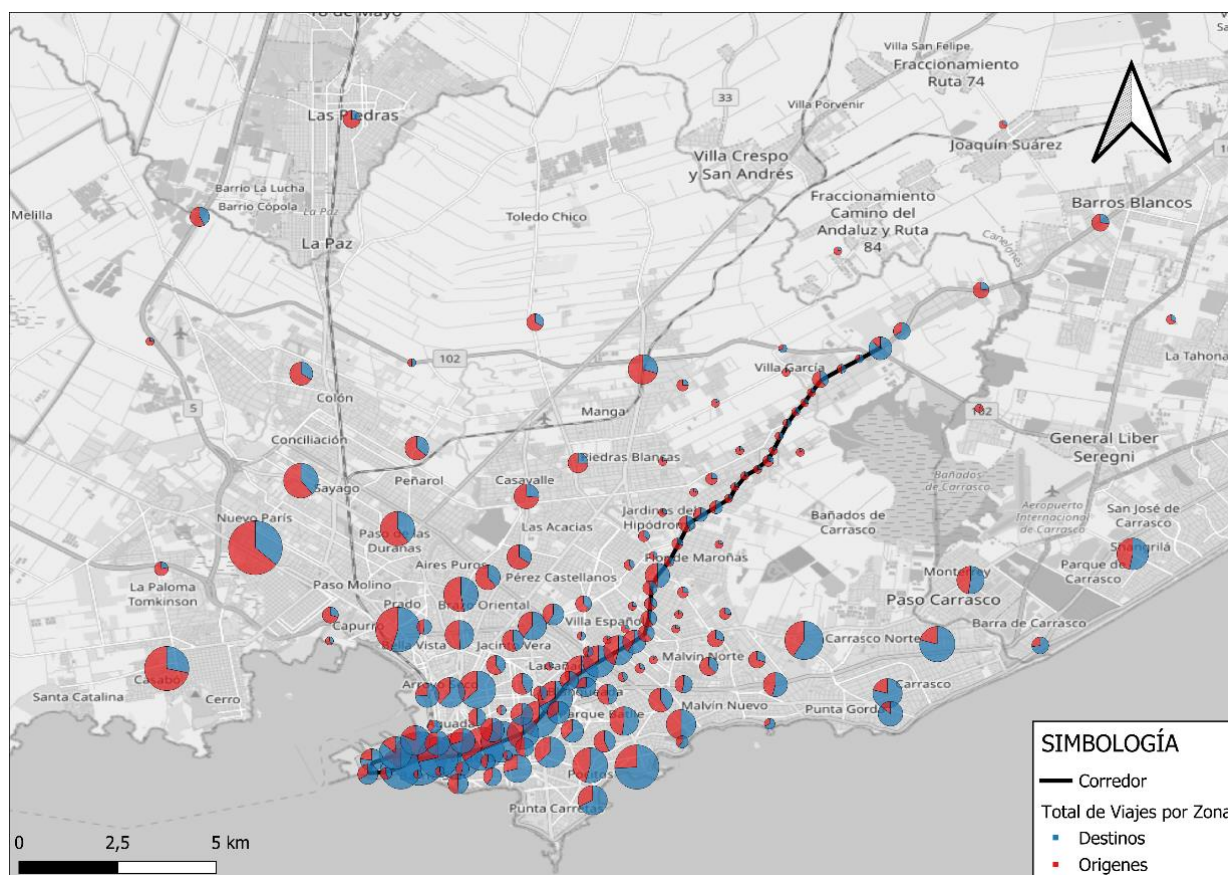


Figura 25. Total de viajes por zona - Matriz OD HPM – vista BRT. Fuente: Elaboración propia.



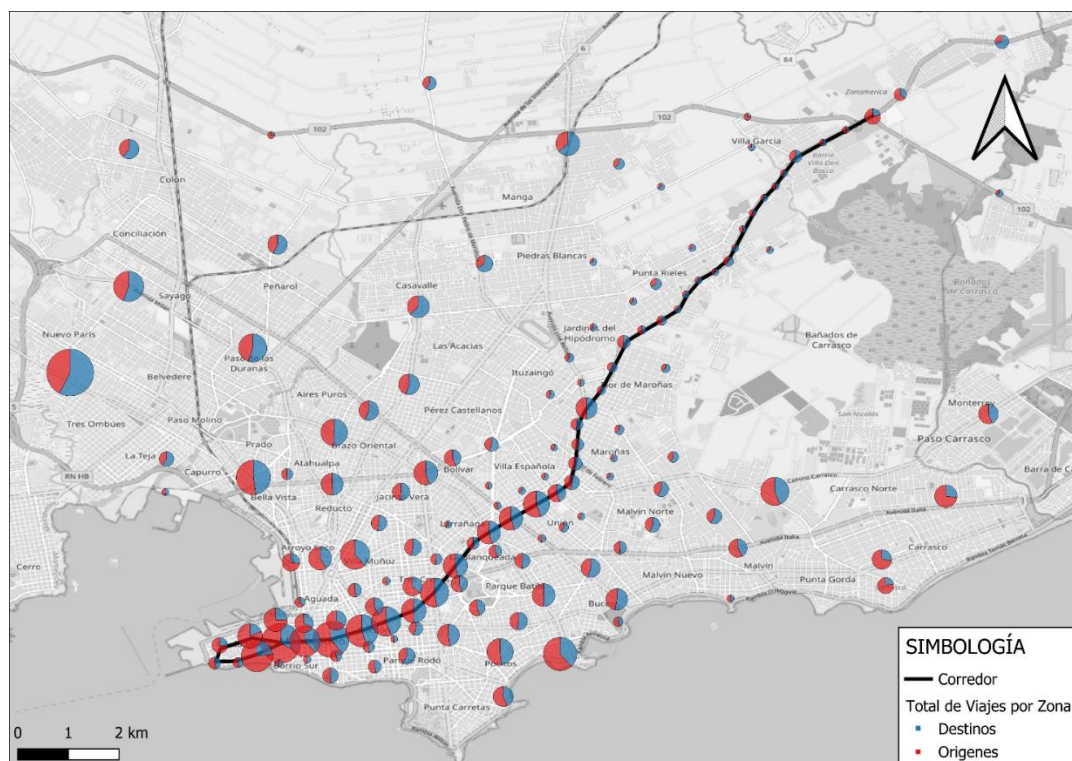


Figura 26. Total de viajes por zona - Matriz OD HPT – vista BRT. Fuente: Elaboración propia.

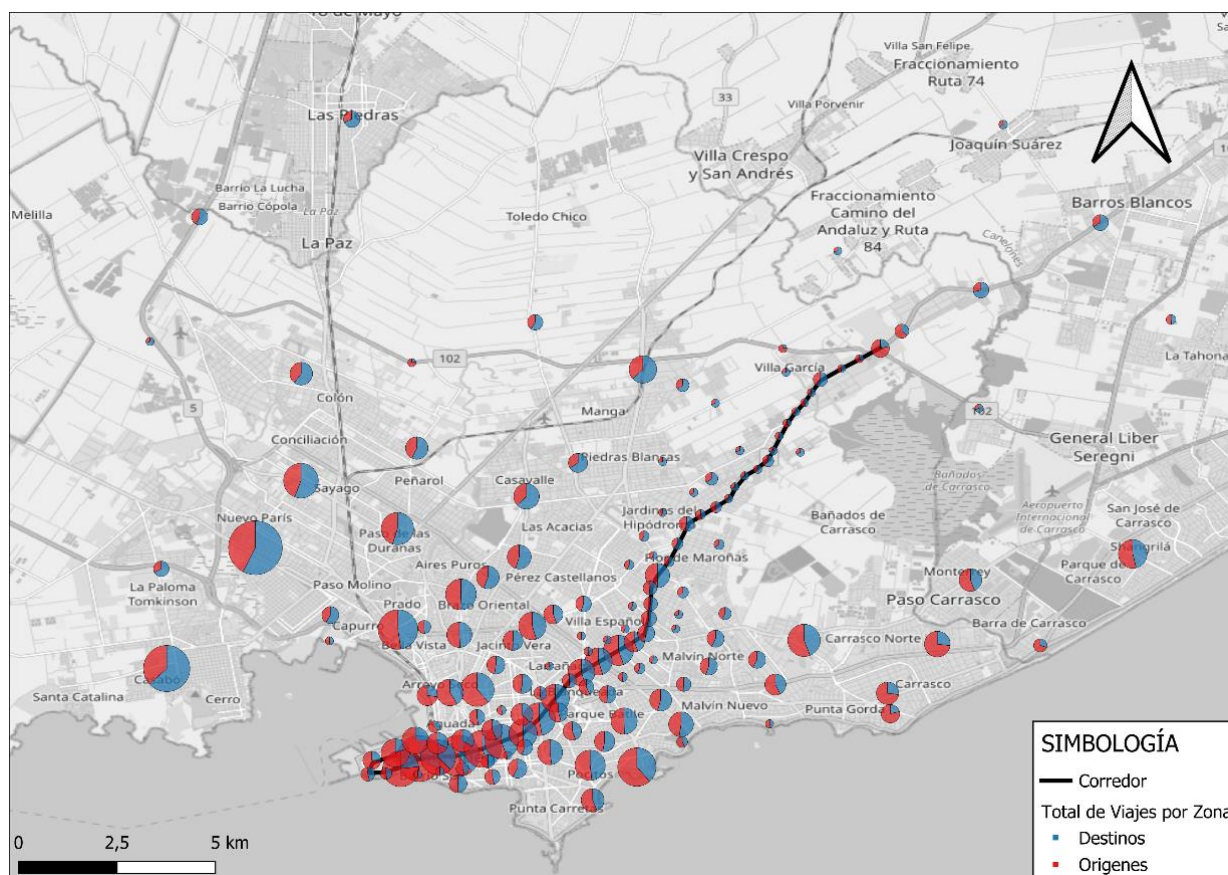


Figura 27. Total de viajes por zona - Matriz OD HPT – vista BRT. Fuente: Elaboración propia.



5. Red de transporte público escenario base

Para la selección de variantes que participarán en la construcción del Modelo de Simulación, se realizó una primera revisión de los **recorridos habilitados para circular** por las arterias, que un futuro, conformarán el corredor de BRT Ruta 8 - Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de Julio y su extensión por Ciudad Vieja (25 de Mayo, Lindolfo Cuesta y Reconquista), a las cuales llamaremos **"usa corredor"**, y/o que cortan o interceptan al mismo en algún punto, y que podrán alimentar al futuro sistema, que llamaremos **"corta corredor"**. Para dicho análisis se utilizaron los recorridos habilitados en formato shapefile indicados en los insumos: *"v_uptu_lsv_destinos"* para recorridos urbanos de Montevideo, y *"Recorridos_Metropolitanos"* para recorridos metropolitanos (para mayor detalle de los insumos remitirse al apartado 2 - Insumos del presente informe).

De esta primera revisión se detectaron que dentro de la categoría **"usa corredor"** se encuentran habilitados para circular recorridos para **683 variantes correspondientes a 70 líneas**, de las cuales 492 variantes (47 líneas) corresponden a ómnibus urbanos de Montevideo, y 191 variantes (23 líneas) a metropolitanas. Mientras que para la categoría **"corta corredor"** se encuentran habilitados **715 variantes correspondientes a 87 líneas**, de las cuales 574 variantes (58 líneas) corresponden a ómnibus urbanos de Montevideo, y 141 variantes (29 líneas) a metropolitanas.

La segunda revisión consistió en identificar los **recorridos que presentan servicios en las horas pico matutinas y/o vespertinas**, que serán consideradas en la modelización. Para ello, se utilizaron los insumos *"Horarios_omnibus"* y *"ETL_Pasadas_Puntos_Notables_MVD_2024_10"* para ómnibus urbanos de Montevideo, y *"ETL_Pasadas_Puntos_Notables_MTOP_2024_10"* para ómnibus metropolitanos (para mayor detalle de los insumos remitirse al apartado 2 - Insumos del presente informe).

De esta segunda revisión se obtuvieron recorridos con frecuencia en alguno de los picos mencionados dentro de la categoría **"usa corredor"** para **201 variantes (29% del total habilitado) correspondientes a 64 líneas**, de las cuales 153 variantes (45 líneas) corresponden a ómnibus urbanos de Montevideo, y 48 variantes (19 líneas) a metropolitanas. Mientras que para la categoría **"corta corredor"** se obtuvieron **229 variantes (32% del total habilitado) correspondientes a 83 líneas**, de las cuales 186 variantes (58 líneas) corresponden a ómnibus urbanos de Montevideo, y 43 variantes (25 líneas) a metropolitanas.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las líneas identificadas como **"usa corredor"** indicando con el valor **"1"** las arterias del corredor que utiliza y con **"0"** las que no, y la cantidad de servicios por sentido² para día hábil hora 8, día hábil hora 17, total día hábil, total día sábado y total día domingo.

² A: Entrante Montevideo y B: Saliente Montevideo



Tabla 3. Líneas "Usa Corredor" – Cantidad de servicios por tipo de día y sentido

LINEA	TIPO	UTILIZACION ARTERIAS CORREDOR			SENTIDO A					SENTIDO B				
		8 OCT / CON.MDO	18 JULIO	CDAD VIEJA	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
2	URBANA	1	0	0	5	4	88	53	50	4	6	87	55	48
21	URBANA	0	1	1	7	8	112	72	24	6	9	115	67	28
60	URBANA	0	1	1	7	5	108	72	50	4	8	108	72	46
62	URBANA	0	1	1	2	3	34	29	27	3	2	34	29	27
64	URBANA	0	1	1	1	0	4	0	0	1	1	20	11	13
76	URBANA	1	0	0	5	3	72	42	37	3	5	67	42	33
100	URBANA	1	1	1	6	5	114	81	55	3	7	94	77	53
102	URBANA	1	1	1	6	7	113	74	43	6	7	109	68	42
103	URBANA	1	1	1	11	11	207	161	117	9	15	200	147	116
104	URBANA	0	1	1	3	4	58	25	18	3	5	59	28	17
105	URBANA	1	1	1	7	4	91	69	54	7	5	102	74	58
106	URBANA	1	1	1	0	0	2	2	4	0	0	2	2	4
109	URBANA	1	1	1	4	6	98	76	59	6	6	110	82	61
110	URBANA	1	1	1	9	9	141	90	61	6	12	139	96	62
111	URBANA	1	1	1	4	3	64	57	43	3	4	71	60	49
112	URBANA	1	1	1	1	2	42	34	22	2	2	44	33	23
113	URBANA	1	1	1	2	3	46	35	13	2	3	45	38	14
115	URBANA	1	0	0	4	5	57	39	2	2	6	69	67	60
117	URBANA	0	1	1	3	4	49	57	36	2	4	48	54	35
121	URBANA	0	1	1	8	6	128	111	68	7	9	128	106	66
140	URBANA	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0
155	URBANA	1	0	0	2	3	35	27	23	1	3	30	26	19
174	URBANA	1	0	0	8	4	109	74	58	6	7	116	74	58
180	URBANA	0	1	1	7	7	117	63	42	6	8	112	67	46
187	URBANA	0	1	1	2	2	37	31	24	2	2	36	30	25
188	URBANA	0	1	1	5	4	70	36	30	3	5	69	36	30
300	URBANA	1	0	0	8	6	108	83	63	7	8	109	83	67
306	URBANA	1	0	0	5	6	94	75	65	6	7	92	72	65
316	URBANA	1	0	0	7	7	109	62	42	8	7	111	59	44
330	URBANA	1	1	1	3	3	55	36	29	3	4	52	33	27
402	URBANA	1	0	1	4	4	69	33	25	4	4	67	34	28
404	URBANA	1	0	0	4	5	90	51	34	5	5	89	51	35
405	URBANA	1	0	0	6	6	113	96	73	6	8	118	100	81



LINEA	TIPO	UTILIZACION ARTERIAS CORREDOR			SENTIDO A					SENTIDO B				
		8 OCT / CON.MDO	18 JULIO	CDAD VIEJA	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
546	URBANA	1	0	0	8	6	115	73	52	6	7	108	75	54
CE1	URBANA	0	1	1	9	9	130	107	122	9	10	126	116	116
CE2	URBANA	0	1	1	3	3	34	39	0	2	2	34	39	0
D1	URBANA	0	1	1	2	3	36	17	16	2	3	35	16	16
D10	URBANA	0	1	1	3	2	23	0	0	2	1	22	0	0
D11	URBANA	0	1	1	5	4	59	0	0	4	3	57	0	0
D8	URBANA	1	1	1	6	5	78	24	0	5	5	75	25	0
D9	URBANA	0	1	1	1	1	18	0	0	1	2	18	0	0
DE1	URBANA	0	1	1	2	3	36	17	16	2	3	35	16	16
E14	URBANA	0	1	1	0	0	4	0	0	3	4	43	29	0
L36	URBANA	1	0	0	2	2	37	25	22	0	0	0	0	0
L40	URBANA	1	0	0	1	2	17	19	20	1	1	18	19	20
L46	URBANA	1	0	0	2	2	35	30	14	2	1	35	30	14
L9	URBANA	1	0	0	4	4	60	32	16	4	5	60	32	16
703	STM	1	0	0	1	0	10	10	8	1	1	16	12	10
704	STM	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10	10	8
705	STM	1	0	0	1	0	6	4	0	1	1	7	4	0
706	STM	1	0	0	1	1	15	9	7	1	1	16	9	6
747	STM	1	0	0	0	0	3	4	6	0	1	11	8	10
748	STM	1	0	0	0	0	4	2	2	0	0	1	0	0
750	STM	1	0	0	0	0	4	1	0	0	1	6	0	0
751	STM	1	0	0	4	3	50	39	21	3	2	46	35	19
752	STM	1	0	0	1	0	11	5	5	1	1	9	5	5
7E5	STM	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
10A	STM	1	0	0	1	0	11	11	3	0	1	9	9	2
14A	STM	1	0	0	0	0	9	7	2	0	1	8	4	2
14AB	STM	1	0	0	4	3	70	51	31	5	7	80	60	35
14AR	STM	1	0	0	3	3	41	27	14	2	1	36	23	11
15B	STM	1	0	0	0	1	6	2	2	1	0	6	2	2
6A	STM	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
6R6	STM	1	0	0	3	2	51	26	17	2	4	52	26	17
7A	STM	1	0	0	8	8	134	77	64	7	9	128	78	65
8A	STM	1	0	0	1	0	8	2	2	1	0	6	2	2
8SR	STM	1	0	0	0	0	5	4	4	0	1	5	4	4



LINEA	TIPO	UTILIZACION ARTERIAS CORREDOR			SENTIDO A					SENTIDO B				
		8 OCT / CON.MDO	18 JULIO	CDAD VIEJA	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
C1	STM	1	0	0	2	3	36	31	27	2	3	35	34	33
C3	STM	1	0	0	0	0	8	9	7	0	0	6	6	6
C5	STM	1	0	0	1	0	16	3	3	0	2	13	2	2

Fuente: Elaboración propia en base a Insumos

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las líneas identificadas como "corta corredor" indicando el/los sector/es donde corta el corredor y el/los eje/s de corte, y la cantidad de servicios por sentido para día hábil hora 8, día hábil hora 17, total día hábil, total día sábado y total día domingo.

Tabla 4. Líneas "Corta Corredor" – Cantidad de servicios por tipo de día y sentido

LINEA	TIPO	CORTE CORREDOR		SENTIDO A					SENTIDO B				
		SECTOR CORTE	EJE CORTE	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
17	URBANA	CENTRO	MAGALLANES / MINAS	6	4	66	30	22	3	4	60	34	26
71	URBANA	3 CRUCES	ARTIGAS	2	2	28	15	17	2	2	27	15	17
116	URBANA	CENTRO	RIO BRANCO / JUNCAL	9	8	119	82	59	8	9	118	81	59
124	URBANA	CENTRO	ANDES	8	7	128	100	55	10	8	119	95	55
125	URBANA	CENTRO	ANDES	5	3	72	50	35	4	4	68	46	30
127	URBANA	CENTRO	ANDES	5	3	95	71	55	0	0	18	21	52
128	URBANA	CENTRO	ACEVEDO / F. CRESPO	8	5	104	77	45	6	6	96	70	41
130	URBANA	CENTRO	ANDES	5	7	117	85	50	8	7	39	84	52
133	URBANA	CENTRO	ANDES	1	0	11	2	2	0	0	6	2	3
137	URBANA	CENTRO	PLAZA INDEPENDENCIA	7	4	101	84	47	3	7	99	73	49
141	URBANA	CENTRO	PLAZA INDEPENDENCIA	0	2	15	8	9	1	0	8	5	9
142	URBANA	CENTRO	JUNCAL / F. CRESPO	6	2	65	47	33	4	4	60	50	34
143	URBANA	3 CRUCES	ITALIA	3	4	35	13	13	2	2	33	12	12
144	URBANA	8 OCTUBRE	COMERCIO / GDOR. VIANA	6	4	79	70	46	4	5	75	70	45



LINEA	TIPO	CORTE CORREDOR		SENTIDO A					SENTIDO B				
		SECTOR CORTE	EJE CORTE	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
145	URBANA	8 3OCTUBRE	BATTLE Y ORDOÑEZ	7	5	109	109	76	4	8	116	110	78
147	URBANA	CENTRO	ANDES	3	2	29	33	24	0	0	5	6	7
148	URBANA	CENTRO	ANDES	5	4	84	63	46	4	6	73	51	40
149	URBANA	CENTRO	EJIDO / YAGUARON	7	7	116	81	64	7	8	117	83	68
150	URBANA	CDAD VIEJA	25 DE MAYO	2	1	17	10	6	0	0	0	0	0
151	URBANA	3 CRUCES	ITALIA	6	4	97	67	53	5	8	99	67	51
156	URBANA	CENTRO	ANDES	6	5	67	45	26	0	0	9	10	28
157	URBANA	CENTRO / 3 CRUCES	ACEVEDO / ARTIGAS	1	1	13	19	14	1	1	15	21	17
158	URBANA	CENTRO	ANDES	8	4	111	93	69	4	9	101	77	61
163	URBANA	3CRUCES	ARTIGAS	8	5	119	88	61	4	9	121	93	62
169	URBANA	CENTRO	ANDES	8	2	97	87	66	0	0	22	22	52
175	URBANA	CDAD VIEJA	25 DE MAYO	7	3	81	54	37	0	0	0	0	0
181	URBANA	3CRUCES / 8 OCTUBRE	ARTIGAS / HERRERA	12	13	194	161	117	11	12	187	160	117
182	URBANA	8 OCTUBRE	HERRERA	0	0	7	7	14	0	0	8	8	14
183	URBANA	3 CRUCES / 8 OCTUBRE	ARTIGAS / HERRERA	13	10	190	172	130	11	10	183	173	135
185	URBANA	3 CRUCES / 8 OCTUBRE	ARTIGAS / CENTENARIO	8	5	118	107	69	7	9	120	103	74
186	URBANA	8 OCTUBRE	CENTENARIO	2	1	33	19	8	2	1	34	16	7
191	URBANA	8 OCTUBRE	GARIBALDI	2	3	42	43	33	2	3	42	44	32
192	URBANA	8 OCTUBRE	CENTENARIO	9	4	112	81	49	5	9	110	78	53
195	URBANA	8 OCTUBRE	BELLONI	5	4	77	64	58	5	5	72	61	56
199	URBANA	CENTRO	ACEVEDO / F. CRESPO	5	5	88	75	59	5	5	90	82	63
328	URBANA	8 OCTUBRE	CENTENARIO	4	3	55	33	24	2	3	44	34	24
329	URBANA	8 OCTUBRE	GARIBALDI	3	3	48	28	28	4	3	49	31	30
370	URBANA	3 CRUCES	ITALIA	5	6	87	54	41	6	6	94	54	43
396	URBANA	CDAD VIEJA	25 DE MAYO	1	1	17	12	0	0	0	0	0	0
407	URBANA	3 CRUCES	ITALIA	4	2	54	28	23	2	3	47	26	24
409	URBANA	CENTRO	MAGALLANES / MINAS	7	4	86	49	36	4	7	76	46	39
427	URBANA	CENTRO	RIO NEGRO / PARAGUAY	6	6	95	57	43	4	6	88	54	39
456	URBANA	CENTRO	ANDES	5	4	49	6	3	0	0	14	4	7
494	URBANA	3 CRUCES	ITALIA	4	5	90	63	50	5	6	87	59	51
495	URBANA	3 CRUCES	ITALIA	0	0	1	1	2	0	0	2	2	3



LINEA	TIPO	CORTE CORREDOR		SENTIDO A					SENTIDO B				
		SECTOR CORTE	EJE CORTE	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
505	URBANA	CENTRO	ANDES	7	6	105	57	57	6	7	95	52	53
522	URBANA	CENTRO	EJIDO / YAGUARON	5	5	73	45	34	4	5	73	45	38
524	URBANA	CENTRO	ANDES / JUNCAL	2	3	52	36	37	0	3	38	24	28
526	URBANA	3 CRUCES	ARTIGAS	6	7	91	51	44	5	5	92	49	46
538	URBANA	CENTRO	RIO NEGRO / PARAGUAY	4	3	49	35	33	3	3	48	32	29
582	URBANA	CENTRO	RIO NEGRO / MINAS	7	6	109	44	41	6	7	99	43	40
124 SD	URBANA	CENTRO	ANDES	2	0	6	0	0	0	2	7	0	0
D5	URBANA	CENTRO	ANDES	2	1	17	0	0	1	2	15	0	0
G	URBANA	CENTRO	ACEVEDO / F. CRESPO	7	8	125	95	72	8	9	118	88	71
L2	URBANA	CNO MALD	REPETTO	2	2	27	15	15	2	1	25	14	11
L22	URBANA	CNO MALD	REPETTO	0	0	1	1	0	0	0	1	2	4
L30	URBANA	CNO MALD	ARIES	0	0	10	30	30	0	0	11	30	30
L41	URBANA	8 OCTUBRE	BELLONI	2	2	32	19	0	3	2	30	17	0
214	STM	3 CRUCES	ITALIA	5	3	84	80	65	4	7	77	74	62
221	STM	3 CRUCES	ITALIA	2	3	50	22	22	5	3	51	24	24
222	STM	3 CRUCES	ITALIA	2	2	37	33	33	2	2	33	31	29
227	STM	3 CRUCES	ARTIGAS	0	0	0	0	0	1	0	3	1	2
700	STM	3 CRUCES	ITALIA	1	2	21	5	5	1	2	24	9	6
701	STM	3 CRUCES	ITALIA	3	3	53	30	28	3	5	53	30	24
702	STM	3 CRUCES	ITALIA / ARTIGAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
704	STM	3 CRUCES / CNO MALD	ITALIA / ZONAMERICA	1	0	16	12	10	0	0	0	0	0
707	STM	3 CRUCES	ITALIA	0	0	13	7	4	2	0	14	7	3
708	STM	3 CRUCES	ITALIA	1	1	14	7	3	0	1	12	7	4
709	STM	3 CRUCES	ITALIA	3	2	39	23	14	2	4	36	27	15
710	STM	TRES CRUCES	ITALIA	4	3	59	54	38	3	4	54	49	38
711	STM	3 CRUCES	ITALIA	3	2	36	26	20	2	5	42	29	23
712	STM	3 CRUCES	ITALIA	0	2	8	6	7	1	1	7	6	4
714	STM	3 CRUCES	ITALIA	3	2	50	41	32	2	2	36	31	29
724	STM	3 CRUCES	ITALIA	1	1	14	8	5	1	1	14	10	7
757	STM	CNO MALD	ZONAMERICA	0	2	21	7	4	2	1	23	7	3
1M7	STM	3 CRUCES	ARTIGAS	0	0	0	0	0	0	1	7	5	4
2M7	STM	3 CRUCES	ARTIGAS	0	0	0	0	0	0	0	6	4	3



LINEA	TIPO	CORTE CORREDOR		SENTIDO A					SENTIDO B				
		SECTOR CORTE	EJE CORTE	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM	SERV-DH-H8	SERV-DH-H17	SERV-DH	SERV-SAB	SERV-DOM
702R	STM	3 CRUCES	ARTIGAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7E7R	STM	3 CRUCES	ARTIGAS	2	1	19	9	6	1	1	18	10	8
7E8D	STM	3 CRUCES	ITALIA	1	0	3	0	0	0	1	3	0	0
7E8R	STM	3 CRUCES	ITALIA	1	1	24	15	11	2	1	23	18	12
8E7R	STM	3 CRUCES	ITALIA	0	1	5	0	0	1	0	5	0	0
8E8R	STM	3 CRUCES	ITALIA	1	0	9	0	0	0	1	5	0	0
C2	STM	3 CRUCES	ITALIA	2	0	12	6	6	0	0	6	3	0
C4	STM	3 CRUCES	ITALIA	3	2	47	39	35	2	3	46	41	37
D222	STM	3 CRUCES	ITALIA	0	0	2	0	0	0	1	3	0	0
DM1	STM	CNO MALD	ZONAMERICA	15	15	215	80	80	15	10	250	85	85

Fuente: Elaboración propia en base a Insumos



6. Red de oferta escenario con BRT

En el presente apartado se exponen las características principales vinculadas con la red de oferta del Corredor conformado por los ejes Ruta 8, Cno. Maldonado, Av. 8 de Octubre, Av. 18 de Julio y su extensión por Ciudad Vieja (25 de Mayo, Lindolfo Cuesta y Reconquista), vinculando Zonamérica con Ciudad Vieja, con una extensión de 23 kilómetros, tal que permitan identificar las particularidades consideradas para la definición de cada tramo, la localización de las estaciones y la reorganización de las rutas de transporte público.

Dentro del Corredor la/las línea/s troncales circularán en **carriles exclusivos** y contará con **43 estaciones**, ubicadas aproximadamente cada 500 metros.

La troncalización incorporará gran parte de las líneas que realizan tramos significativos sobre el corredor, tanto sean éstas pertenecientes al sistema urbano o suburbano, considerando modificaciones en los recorridos de líneas actuales.

Cabe aclarar que la oferta considerada en el presente capítulo corresponde con un escenario inicial para evaluación y posterior revisión y/o ajuste.

6.1. Caracterización de la infraestructura

A los fines prácticos, y a fin de identificar características homogéneas, el corredor se divide en **cuatro tramos**: Ciudad Vieja, Plaza Independencia – Tres Cruces, Tres Cruces – Intercambiador Belloni, e Intercambiador Belloni – Zonamérica, cuyas características principales se esquematizan y detallan a continuación.

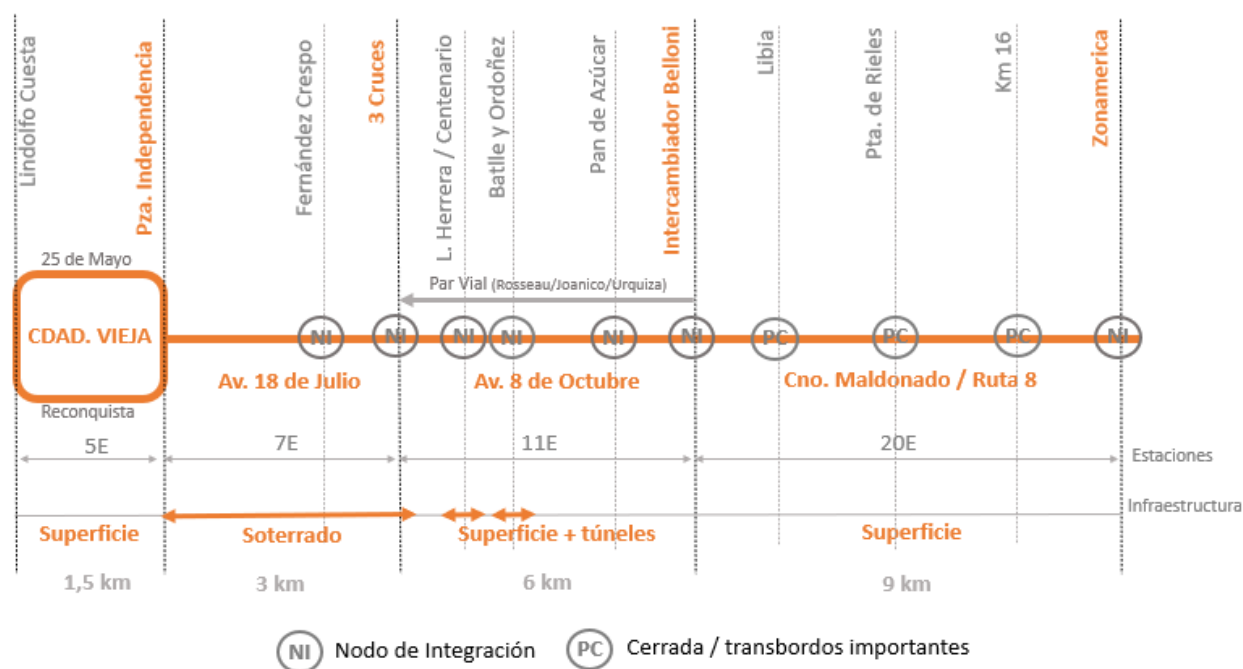


Figura 28. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Tramificación y Características Principales. Fuente: Elaboración propia.



6.1.1. Ciudad Vieja

Este tramo de aproximadamente **1,5 kilómetros** de longitud este-oeste, presentará la circulación de la línea troncal en un loop conformado por las calles 25 de Mayo (sentido este) – Lindolfo Cuesta (sentido sur) – Reconquista (sentido oeste), con la disposición de **un carril exclusivo lateral y cinco estaciones cerradas** para su acceso.

Las **paradas 0.1 a 0.5** propuestas para este tamo estarán localizadas en:

25 de Mayo

0.1. Carlos Gómez – Ituzaingó

0.2. Pérez Castellano – Maciel

Lindolfo Cuesta

0.3. Sarandí – Buenos Aires

Reconquista

0.4. Colón - Alzaibar

0.5. Treinta y Tres – Ituzaingó

6.1.2. Plaza Independencia – Tres Cruces (calle Pte. Batlle)

A lo largo de este trayecto, de aproximadamente **3 kilómetros** de longitud, la línea troncal circulará por un **corredor central con un carril exclusivo por sentido y paradas centrales**.

Para este tramo se están analizando diferentes escenarios de tipos de infraestructura (soterrado total o parcial y en superficie). En esta primera evaluación, se considera que la conexión entre Plaza Independencia y Tres Cruces se realizará mediante la construcción de un **túnel bajo el eje de la Av. 18 de Julio**, permitiendo la circulación exclusiva de las unidades del BRT sin la interacción con la red vial de superficie entre la **Plaza Independencia y la calle Pte. Batlle**.



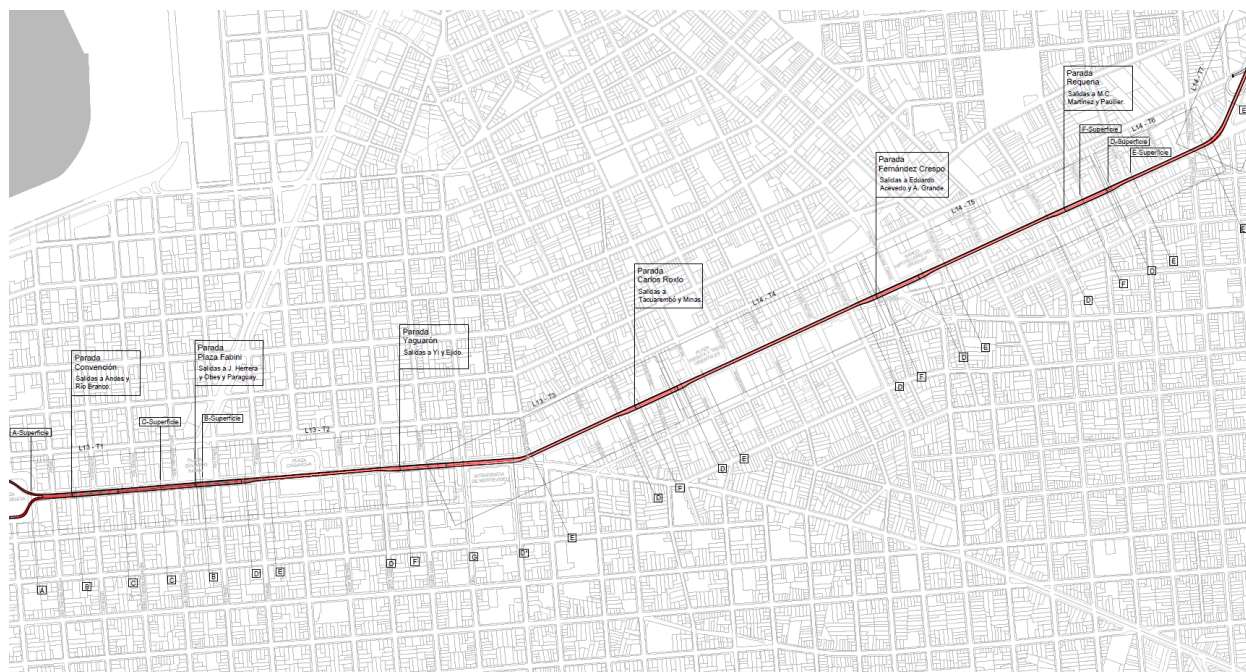


Figura 29. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Tramo Plaza Independencia – Tres Cruces. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

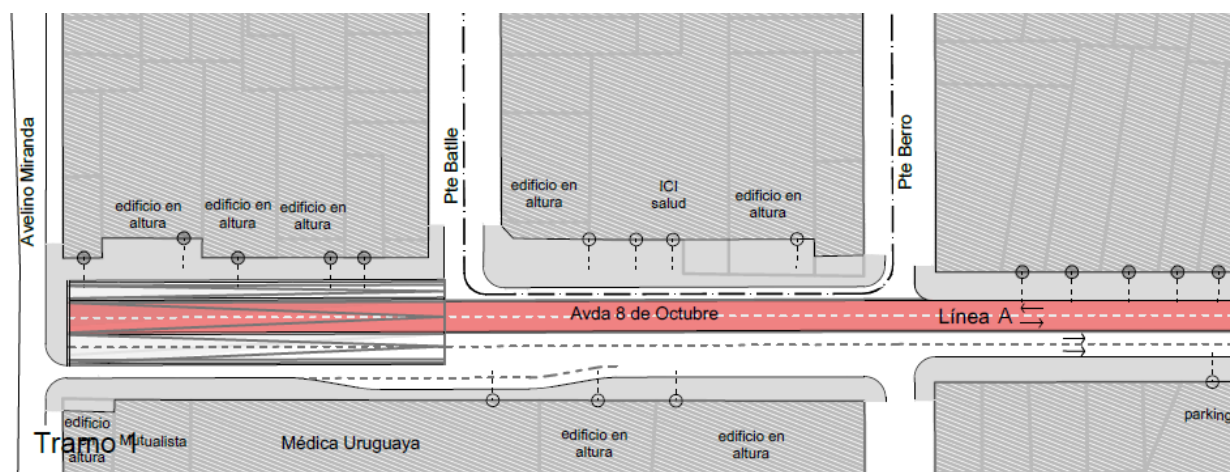


Figura 30. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Extremo oeste del túnel, altura Pte. Batlle. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

En este sector, se propone la instalación de **siete estaciones cerradas y soterradas** para el acceso a las unidades. Asimismo, se plantea que dos de ellas funcionen como **nodos de intercambio** del sistema con líneas alimentadoras, ubicados en **Fernández Crespo** y **Tres Cruces**.



Las **paradas 1 a 7** propuestas para este tramo estarán localizadas en **Av. 18 de Julio** entre las calles:

1. Andes – Convención
2. Río Negro - Paraguay
3. Yaguarón – Ejido
4. Minas – Magallanes
5. **Eduardo Acevedo – Fernández Crespo**
6. Requena – Paullier
7. **Tres cruces**

Los **andenes** se encuentran predimensionados para permitir la detención simultánea de hasta cuatro buses por sentido³. Las plataformas de ascenso y descenso estarán conectadas al nivel de calle mediante un núcleo de accesos que incluye escalera común, escalera mecánica para el ascenso y ascensor apto para sillas de ruedas y otros dispositivos de accesibilidad universal.

Respecto al **intercambiador de Tres Cruces**, el predimensionamiento se organiza en dos niveles diferenciados pero integrados, que resuelven la coexistencia y articulación de diversos modos de transporte. En el Nivel -2, a cota -10.50 metros, se despliega el corredor soterrado de la Línea BRT que vinculará Zonamérica y Cdad. Vieja, con andenes de embarque y desembarque dispuestos a lo largo del túnel exclusivo, libre de interferencias con el tránsito vehicular privado. En el Nivel -1, a cota -5.50 metros, se reserva un espacio para las paradas de una línea BRT que circulará por Av. Italia – Giannattasio (no considerada dentro del presente estudio), integrándose a la Av. 18 de Julio, en cuyo tramo futuramente se combinarán los servicios troncales de ambos corredores.

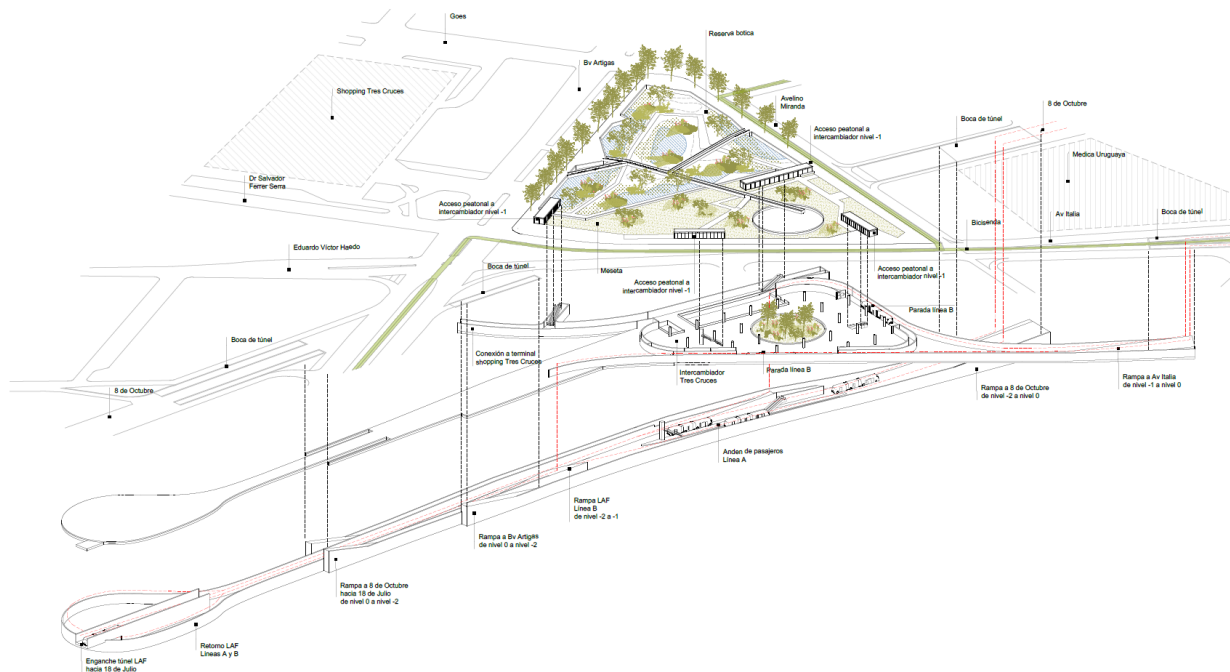


Figura 31. Propuesta inicial para el Nodo de Intercambio Tres Cruces. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

³ Quedando reserva para una futura línea de BRT que opere por Av. Italia – Giannattasio – 18 de Julio



6.1.3. Tres Cruces (calle Pte. Batlle)– Intercambiador Belloni

Este tramo de aproximadamente 6 kilómetros de longitud este-oeste, que utilizará la avenida 8 de Octubre, permitirá la circulación del BRT por un carril exclusivo central por sentido en superficie, exceptuando los cruces con Av. Luis A. Herrera / Av. Centenario y Bvar. Batlle y Ordoñez, donde se plantean pasos soterrados.

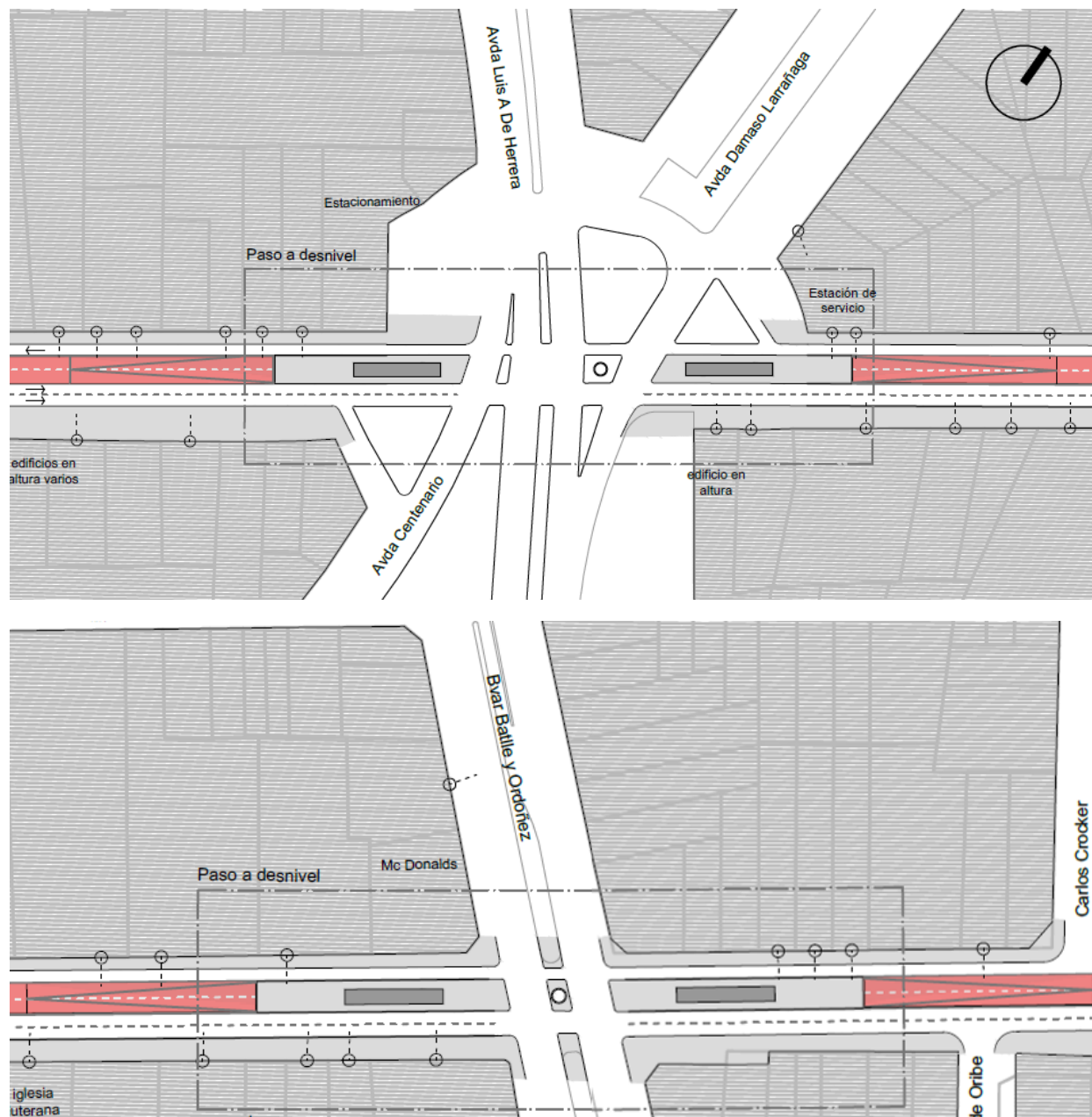


Figura 32. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Pasos a desnivel L. A. Herrera – Centenario y Batlle y Ordoñez. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025



Cabe destacar que, entre **Rousseau y Garibaldi**, la calzada de la Avenida 8 de Octubre permitirá, además de los carriles centrales de BRT, la **circulación compartida de líneas de transporte público** en sentido oeste utilizando dos carriles de tránsito general. En el sentido hacia el centro, estas líneas realizarán su recorrido por el eje Rousseau (la cual cambia de sentido hacia el centro) – Joanicó – Urquiza, que funcionará como par vial de la avenida. Para ambos ejes, se propone la utilización de paradas en vereda, ubicadas de manera coherente con la disposición actual y en relación al sistema troncal.



Figura 33. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Tipología del tramo Tres Cruces – Belloni con par vial. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

En este sector se propone la instalación de **once estaciones cerradas** para el acceso a las unidades, de las cuales **cuatro** se plantea que funcionen como **nodos de intercambio** del sistema con líneas alimentadoras, a localizar en: **Luis A. Herrera / Centenario**, **Batlle y Ordoñez (Propios)**, **Pan de Azúcar**, e **Intercambiador Belloni**.

Las **paradas 8 a 18** propuestas para este tamo estarán localizadas en **Av. 8 de octubre** entre las calles:

8. Berro – Albo/ Garibaldi
9. Cibils – Olmida
10. Mariano Moreno – L. Herrera /Centenario
11. Abreu – Batlle y Ordoñez (Propios)
12. Comercio – Viana
13. Larravide – Forteza
14. Silvestre Pérez – Pan de Azúcar
15. 21 abril – 20 Febrero



- 16. Vera – Villademoros
- 17. Smidel – Piccioli
- 18. Intercambiador Belloni

Las estaciones en este tramo se encuentran prediseñadas para la detención simultánea de dos buses por sentido, con andenes de 3,6 metros de ancho y aproximadamente 57 metros de largo techado. El acceso a estas estaciones se realiza por los extremos, garantizando una circulación fluida, accesible y segura.

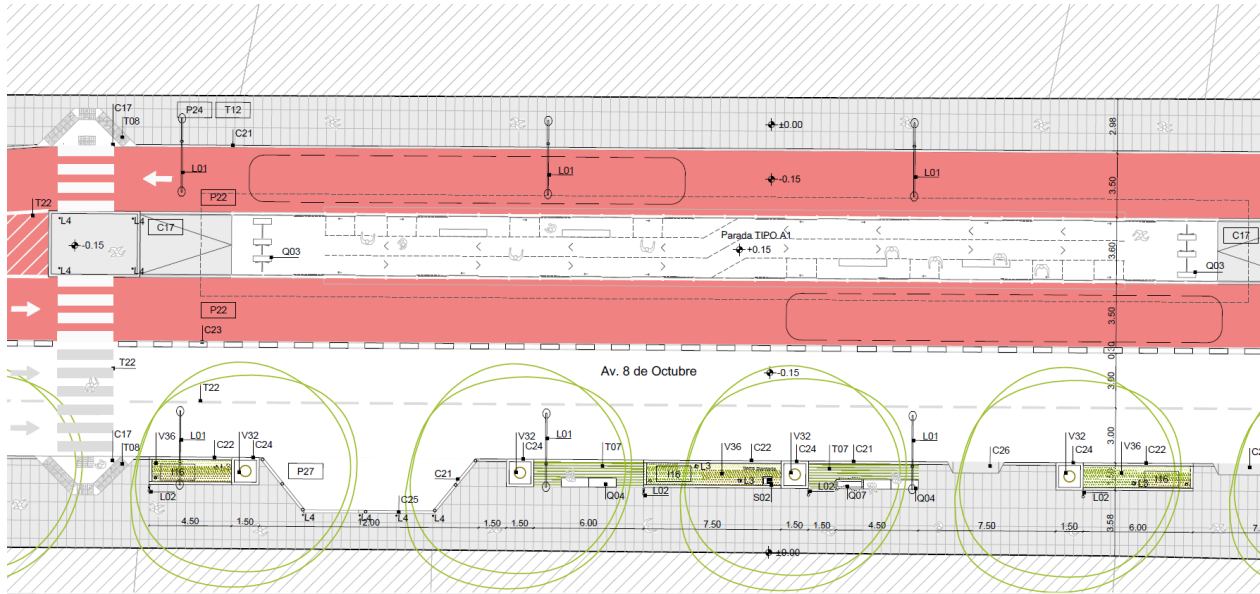


Figura 34. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Tipología estación cerrada. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

Es el caso de la **estación ubicada frente al intercambiador Belloni**, se predimensiona una parada especial con conexión peatonal subterránea bajo la calzada, permitiendo un tránsito fluido entre líneas metropolitanas, suburbanas e interdepartamentales.



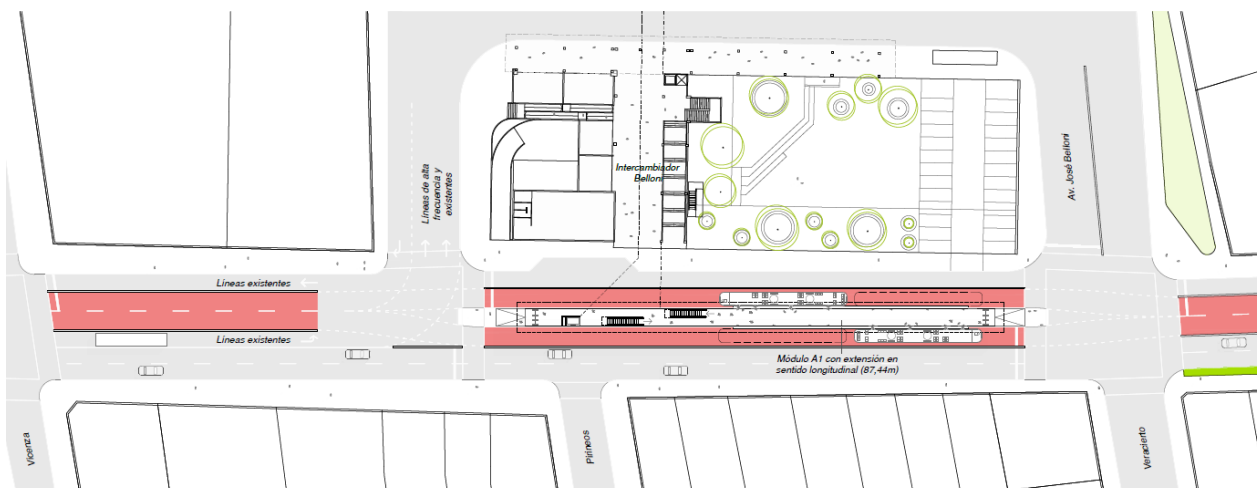


Figura 35. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Nodo de Intercambio Belloni. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

6.1.4. Intercambiador Belloni - Zonamérica

El tramo de aproximadamente 9 kilómetros de longitud este- oeste, utilizará los ejes Cno. Maldonado – Ruta 8, con la circulación del BRT por un carril exclusivo central por sentido en superficie.

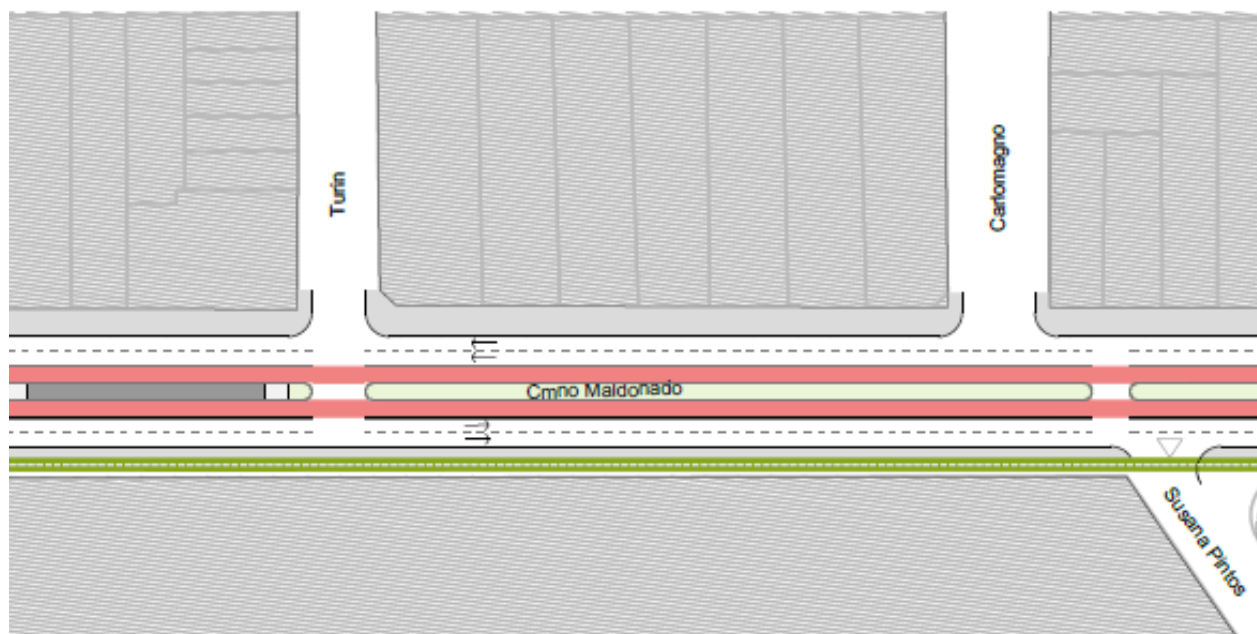


Figura 36. Propuesta Inicial del Corredor BRT – Disposición de carriles del tramo Intercambiador Belloni - Zonamérica. Fuente: Proyecto de Movilidad Metropolitana – FADU, 2025

Cabe destacar que en este tramo, la calzada de Cno. Maldonado / Ruta 8 permitirá, además de los carriles centrales de BRT, la circulación compartida de líneas de transporte público en sentido este y oeste utilizando



dos carriles de tránsito general. Para ambos sentidos, se propone la utilización de paradas en vereda, ubicadas de manera coherente con la disposición actual.

En este sector se propone la instalación de **veinte estaciones** para el acceso a las unidades, de las cuales **cuatro se plantea que funcionen como cerradas** y operen los principales trasbordos del tramo con líneas alimentadoras, a localizar en: **Libia, Punta de Rieles y Kilómetro 16, y un nodo de intercambio en Zonamérica.**

Las **paradas 19 a 38** propuestas para este tramo estarán localizadas en **Cno. Maldonado / Ruta 8** entre las calles:

- 19. Roma - Areguati
- 20. Cochabamba – Celiar
- 21. Libia – Rafael**
- 22. Venecia y 17 mts
- 23. Susana Pintos – Génova
- 24. Chacarita de los Padres
- 25. Rosario
- 26. Marbella
- 27. Estepona
- 28. Escuela 179 (Punta de Rieles)**
- 29. Cerdeña
- 30. Plutón
- 31. Leandro Gómez
- 32. F. Rodriguez
- 33. Miguel Estevez
- 34. Arroyo Manga – Costanera
- 35. Marcelino Champagnat km 16**
- 36. Ángel Zanelli
- 37. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP)
- 38. Zonamérica**

Las estaciones en este tramo se encuentran prediseñadas para la detención simultánea de dos buses por sentido, con andenes de 3,6 metros de ancho y aproximadamente 57 metros de largo techado. El acceso a estas estaciones se realiza por los extremos, garantizando una circulación fluida, accesible y segura.

6.2. Reorganización de las rutas de transporte público

La troncalización de los servicios incorporará gran parte de las líneas que actualmente recorren tramos significativos del corredor, tanto urbanas como suburbanas.

La generación de líneas troncales sobre el Corredor, requiere que se consoliden los flujos de pasajeros mediante trasbordos que ocurrirían principalmente en **seis nodos de intercambio: Zonamérica, Intercambiador Belloni, Av. 8 Octubre y Pan de Azúcar, Av. 8 Octubre y Av. Luis A. Herrera, Tres Cruces,**



y Av. 18 de Julio y Av. Fernández Crespo, de acuerdo con el siguiente esquema de corte y reestructuración de 39 líneas (24 urbanas y 15 suburbanas).

De esta forma las siguientes líneas serán seccionadas en los nodos de integración y pasarán a cumplir funciones de alimentadoras:

- **Zonamérica.**
 - Urbanas:
 - 103 (Los Aromos / Villa García – Pza. España)
 - Suburbanas:
 - 7A (Terminal Copsa Pando – Río Branco)
 - 14AB (Terminal Copsa Pando – Río Branco)
 - 14AR (Terminal Copsa Pando – Río Branco) y
 - 703 (Cno. Carrasco – Montevideo)
- **Intercambiador Belloni**
 - Urbanas:
 - 100 (Punta Rieles / Villa Farré – Pza. España),
 - 110 (Manga – Pza. España),
 - 111 (Malvín – Pza. España),
 - 112 (Punta Gorda – Belloni / Tres Cruces / Pza. España) – Variantes que llegan a Belloni
 - 115 (Vista Linda – Tres Cruces) y
 - Suburbanas:
 - 705 (Pinar – Río Branco),
 - 706 (Pando – Río Branco),
 - 747 (Pando – Río Branco),
 - 750 (B° Obrero - Río Branco),
 - 751 (Sauce – Río Branco),
 - 752 (V. Hadita – Río Branco),
 - 7E5 (Cnas. de Solymar – Río Branco) y
 - 6R6 (Sauce – Río Branco).
- **Av. 8 Octubre y Piccioli**
 - Urbanas:
 - 102 (Gta. Lourdes / Terminal – Pza. Independencia),
- **Av. 8 Octubre y Villademoros**
 - Urbanas:
 - 112 (Punta Gorda – Belloni / Tres Cruces / Pza. España) – Variantes que ingresan/egresan al corredor por Villademoros



- **Av. 8 Octubre y Pan de Azúcar**
 - Urbanas:
 - 105 (Geant – Pza. España),
 - 109 (Paso Carrasco / Geant – Pza. España) y
 - 113 (Malvín / Pza. Independencia – Tres cruces)
 - Suburbanas:
 - C1 (Salinas – Río Branco),
 - C3 (Pque. del Pta. – Río Branco) y
 - C5 (Est. Atlántica – Río Branco)

- **Av. 8 Octubre y Av. Luis A. Herrera**
 - Urbanas:
 - 316 (Cno. Maldonado/Km 16 Fac. Veterinaria – Pocitos),
 - 330 (Instrucciones y Mendoza - Ciudadela circuito) y
 - 404 (Libia y Cno. Maldonado - Palacio de la Luz)

- **Tres Cruces**
 - Urbanas:
 - 180 (Pza. Gerardo Cuesta - Ciudad Vieja),
 - 187 (Palacio de la Luz – Pza. Independencia) y
 - 188 (Palacio de la Luz - Ciudad Vieja)

- **Av. 18 de Julio y Av. Fernández Crespo**
 - Urbanas:
 - 60 (Portones - Ciudad Vieja / Solís / Pza. Independencia),
 - 62 (Pocitos - Ciudad Vieja / Plza. Independencia) y
 - D11 (Geant - Ciudad Vieja)

En cuanto a reestructuraciones específicas para adaptar los recorridos, se presentan las siguientes:

- La línea D8 (Villa García – Cdad. Vieja) presentará una reestructuración de su recorrido convirtiéndose en una línea circular entre los nodos de intercambio Tres Cruces y Libia.
- La línea CE1 (Tres Cruces – Pza. Independencia) quedará absorbida íntegramente por la línea troncal
- Las líneas locales L36 (Int. Belloni – Rafael) y L46 (Int. Belloni – Int. Belloni), que actualmente presentan recorrido sobre Cno. Maldonado no circularán mas por allí generándose las siguientes reestructuraciones:
 - L36 y L46, actualmente presentan el mismo recorrido en sentido horario y antihorario, no utilizarán Cno. Maldonado, quedando reestructuradas como líneas circulares entre Int. Belloni y Susana Pintos.



Asimismo existen **14 líneas (9 urbanas y 5 suburbanas)** que circulan por el corredor actualmente, que no presentarán un corte, sino **modificaciones de su recorrido** bajo dos premisas fundamentales, (1) que no haya más de dos transbordos, (2) que las líneas suburbanas que recorren más de 60 kilómetros no se corten.

Estas líneas utilizarán para su circulación carriles de tránsito general de Cno. Maldonado / Ruta 8, entre Zonamérica y Belloni, y/o el par Av. 8 de Octubre / Rousseau- Joanicó – Urquiza, entre Belloni y Tres Cruces.

- Urbanas:

- 2 (Portones – Terminal Colón),
- 76 (Playa del Cerro – Pta. Carretas)
- 174 (Pta. Carretas – Aviación),
- 300 (Pza. Zitarrosa – Instrucciones),
- 306 (Casabo – Pque. Roosevelt),
- 402 (Ciudadela – Malvín),
- 405 (Gta. Lourdes – Pque. Rodó) y
- 546 (Belvedere – Portones)
- L9 (Int. Belloni – Villa Farre)

- Suburbanas: Estas líneas presentan extensiones de recorrido mayores a 60 kilómetros.

- 8A (Soca - Río Branco),
- 8SR (San Ramón – Río Branco),
- 10A (Pando – Río Branco),
- 14A (San Jacinto - Río Branco) y
- 15B (San Antonio - Río Branco).

Por último, se identifican **11 líneas urbanas** que circulan actualmente por 18 de Julio y presentarán **modificaciones particulares**, a saber:

- **21, 64, D9 y D10.** Se redirecciona recorrido de 18 de Julio a Colonia y San José. Cabe destacar que estas líneas presentan gran parte de su recorrido por el corredor Av. Italia - Giannattasio - 18 de Julio.
- **DE1 Y D1.** Se redirecciona recorrido de 18 de Julio por B. Amorín - Soriano - San José - Constituyente
- **CE2.** Se redirecciona recorrido de 18 de Julio a Colonia
- **E14.** Se redirecciona recorrido de 18 de Julio a San José
- **104 y 117.** Se redirecciona recorrido de 18 de Julio por Jackson-Guayabo- Soriano y sale por San José- Ejido-Constituyente-Rodó-A.Acevedo
- **121.** Se redirecciona recorrido de vuelta de 18 de Julio a San José-Constituyente-Rodó.

Cabe destacar que para este primer análisis, **las líneas alimentadoras mantendrán la frecuencia actual** para ambos periodos pico de modelización. Futuramente, deberá evaluarse el refuerzo de la oferta de esas líneas, en función de la demanda estimada para cada servicio.



7. Análisis de marcha tipo

7.1. Introducción

El presente apartado tiene por objetivo describir la metodología y resultados del análisis de marcha tipo aplicado al BRT proyectado para el corredor conformado por los ejes Ruta 8, Cno. Maldonado, 8 de Octubre, 18 de Julio y su extensión por Ciudad Vieja (25 de Mayo, Lindolfo Cuesta y Reconquista). Este corredor constituye el eje estructurante principal del sistema de transporte colectivo metropolitano, concentrando altos volúmenes de pasajeros y una elevada interacción con el tránsito general y las actividades urbanas del entorno.

El análisis de marcha tipo permite caracterizar el comportamiento operacional de los vehículos del sistema mediante la construcción de un perfil de velocidad y aceleración representativo del ciclo de conducción real, lo que facilita la estimación de parámetros como la velocidad comercial, tiempos de viaje, consumo energético y eficiencia operativa.

El objetivo es contar con una proyección de velocidad lo más precisa posible, que permita:

- disponer de características de oferta fiables para la etapa de modelación del corredor,
- obtener una estimación precisa de velocidades y tiempos de recorrido/ciclo bajo esta metodología, fundamentales para el diseño operacional.

7.2. Descripción General de la Metodología

7.2.1. Concepto de Marcha Tipo o Ciclo de Conducción

El concepto de *marcha tipo* o *ciclo de conducción* (Duty Cycle / Driving Cycle) hace referencia a la representación estandarizada de un patrón de operación vehicular, expresado como una secuencia temporal de velocidades y aceleraciones que simulan el comportamiento típico de un autobús en su recorrido habitual. Este ciclo integra fases de aceleración, velocidad constante, desaceleración y detención, reproduciendo el perfil real de operación bajo condiciones representativas de la ruta.

La aplicación de la marcha tipo es especialmente pertinente para sistemas BRT, ya que estos presentan un alto grado de estandarización operativa: rutas fijas y de patrón prácticamente idéntico de paradas (stop and go), intervalos regulares, control centralizado, vehículos de características homogéneas y principalmente condiciones estables de operación con flujo libre y pocas interferencias operativas. En particular en los sistemas BRT de superficie en vías urbanas con intersecciones, uno de los elementos que aporta más variabilidad y entropía en la operación del sistema son los ciclos semafóricos, los cuales no se encuentran totalmente sincronizados al intervalo operativo (además de otras posibles irregularidades operativas) y genera una variación en los tiempos de recorrido y los ciclos de manejo de los vehículos en el sistema. Sin embargo, las características del BRT como sistema permiten construir ciclos representativos más estables y confiables para la simulación y el modelado.



La metodología de análisis de marcha tipo en el contexto del transporte público ha tomado relevancia en el contexto de la implementación de flotas eléctricas con los siguientes objetivos:

- Evaluar la eficiencia energética y las necesidades de potencia o autonomía de los vehículos.
- Estimar los tiempos de viaje promedio y la velocidad comercial.
- Simular condiciones operativas para el diseño de estrategias de regulación o priorización.
- Calibrar modelos de consumo, emisiones o desgaste mecánico.

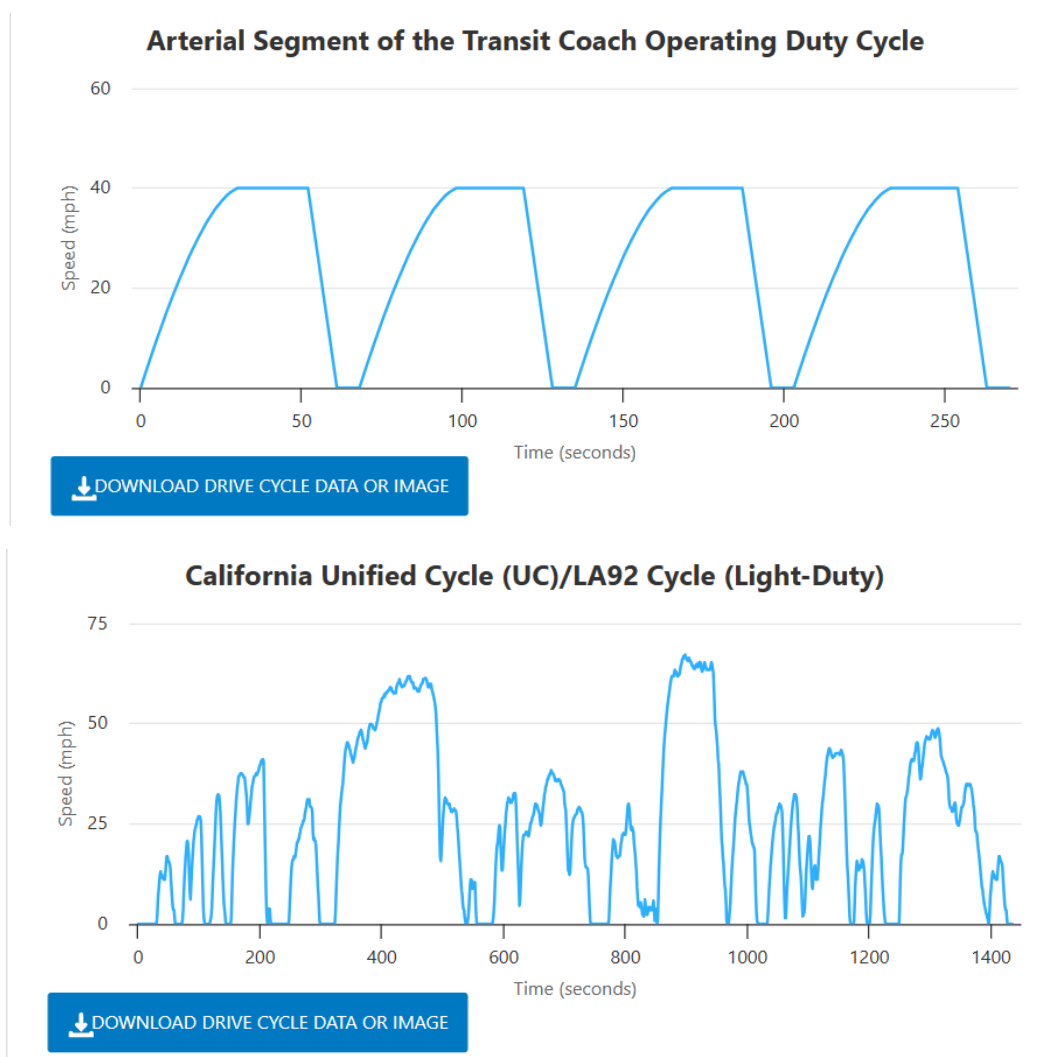


Figura 37. Ejemplos de perfiles típicos de velocidad de ómnibus en diferentes condiciones; Fuente: <https://www.nrel.gov/transportation/drive-cycle-tool>



7.2.2. Velocidad operacional observada en sistemas BRT.

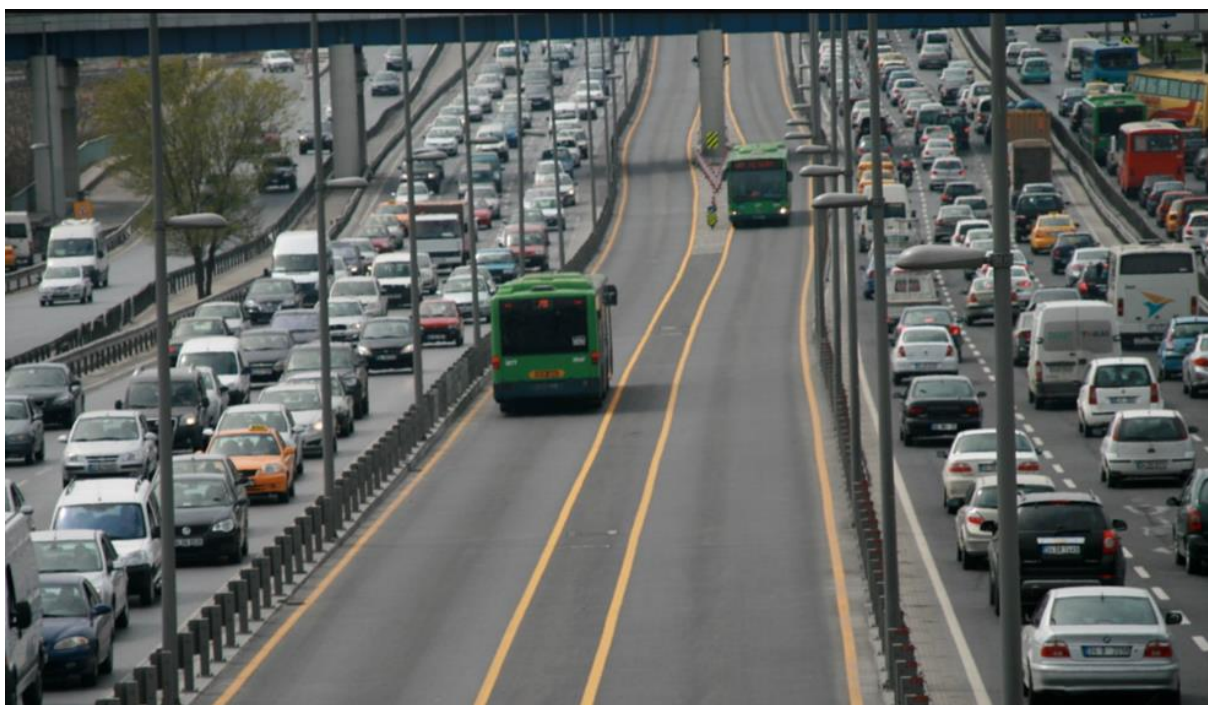
La operación de los sistemas BRT en el mundo ha mostrado diferencias relevantes en las velocidades de operación promedio, reflejo de las particularidades locales y del diseño del sistema. Por ejemplo:

Tabla 1. Ejemplos de sistemas BRT con tipologías viales diferentes.

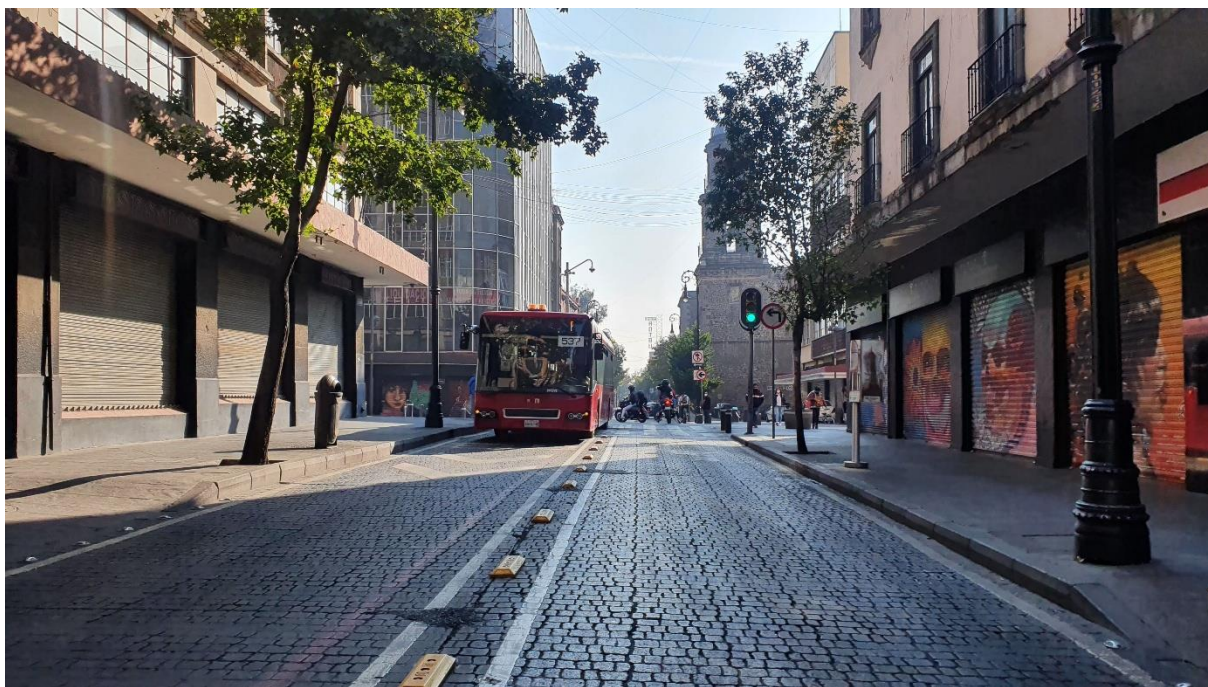
TransMilenio (Bogotá): velocidades comerciales promedio entre 26 y 28 km/h en corredores troncales segregados. Sistema con tramos totalmente segregados y sin intersecciones, tramos urbanos semaforizados y zonas de prioridad peatonal. El sistema opera con una gran diversidad de rutas que toman tramos de diferente tipología existiendo una amplia variedad de velocidades operativas por ruta con la principal diferencia entre rutas “expresas” y “paradoras”.



Metrobüs Estambul: Velocidades superiores a 30 km/h en tramos segregados de autopista urbana. Corredor sin carril de rebase, con segregación total y andén con extensión suficiente para paradas múltiples simultáneas. Aunque el corredor no cuenta con carril de rebase, su característica de vía expresa y las múltiples posiciones de parada lo hicieron una de las primeras experiencias globales con velocidades operacionales superiores a 30 km/hr,



Metrobús Ciudad de México: variaciones entre 12 y 22 km/h dependiendo del corredor y del grado de segregación o interferencias viales. Este sistema ha explorado un rango amplio de tipologías de sistema BRT con predominancia del sistema con estaciones y carril central, que presentan desempeños operativos muy variables en función de las características viales y del entorno.



Fuente: Elaboración propia, fotografía Autores & <https://www.flickr.com/photos/embarq>

Existen diversas referencias prácticas sobre la velocidad de los corredores BRT en la región y a nivel global. Uno de los más conocidos es el estudio sobre 11 sistemas BRT de América Latina y Asia de Hidalgo y Graftieaux



(⁴2008) que permite identificar un rango de desempeño de las velocidades comerciales de estos sistemas y sus principales determinantes. En este documento se recopila información operacional de diversos corredores urbanos tipo BRT, que permite concluir que los rangos de velocidad operacional promedio se encuentran entre 14 km/h (mínima) y 26 km/h (máxima) para este tipo de sistemas.

En este análisis, se observa una velocidad máxima que correspondía a TransMilenio (Bogotá), con corredores troncales completamente segregados, estaciones cerradas con embarque a nivel, pago anticipado, control centralizado de flota y con tramos de infraestructura vial expresa (sin intersecciones). Estas condiciones de alta estandarización y jerarquización operativa permiten una velocidad comercial de hasta 26 km/h, manteniendo niveles de servicio altos incluso en horas pico. Por otro lado, la velocidad mínima de este estudio la registró el Trolebús de Quito, con 14 km/h, asociada a un corredor de infraestructura más antigua, menor grado de segregación y limitaciones en la capacidad de estaciones y flota. En este caso, la operación compartida con tránsito mixto en algunos tramos y la alta densidad de intersecciones reducen la eficiencia del flujo.

En general, el estudio concluye que a mayor integración y aplicación de componentes BRT completos (vías segregadas, control, recaudo anticipado, y flota estandarizada), mayor es la velocidad comercial y la eficiencia operacional. Este patrón es consistente entre los sistemas latinoamericanos analizados, mostrando que la velocidad es un buen indicador del grado de madurez y consolidación técnica del sistema.

Este documento también señala que los sistemas con mayor grado de segregación y con servicios expresos logran velocidades comerciales superiores. Asimismo, se indica que las diferencias entre modos (incluyendo BRT, trenes ligeros y trenes pesados) dependen más del diseño del corredor que de la tecnología vehicular. Las velocidades observadas internacionalmente según la Guía de Planificación BRT varían en el siguiente rango:

- Máximas: superiores 35 km/h en sistemas BRT con alto grado de segregación y carriles de sobrepaso, como Pittsburgh (EE.UU.) y Ottawa (Canadá).
- Intermedias: 25–32 km/h en corredores urbanos con tramos con segregados y sin intersecciones como Bogotá (TransMilenio), Curitiba, Beijing y Los Ángeles (Orange Line).
- Mínimas: 15–18 km/h en sistemas urbanos con alta densidad de estaciones y operación en superficie, como Ciudad de México (Metrobús Insurgentes) y Cleveland HealthLine.

El análisis concluye que los sistemas BRT y LRT alcanzan velocidades operacionales muy similares, siendo las variaciones explicadas casi por completo por la existencia de servicios expresos, el grado de segregación y la distancia entre estaciones. En sistemas de alta demanda, la introducción de servicios limitados o expresos constituye una ventaja competitiva clave del BRT frente a otros modos.

De manera complementaria, puede usarse como ejemplo el comportamiento operativo de la Línea 1 de Metrobús. La Línea 1, implementada en el Corredor Insurgentes, con 28km de extensión y 45 estaciones, se caracteriza por una importante variación del contexto vial en el que presta servicio, con tramos de vialidad expresa y arterias de alta densidad urbana, intersecciones y tránsito peatonal, ciclista y vehicular.

⁴ Hidalgo, Dario & Graftieaux, Pierre. (2008). Bus Rapid Transit Systems in Latin America and Asia: Results and Difficulties in 11 Cities. Transportation Research Record. 2072. 77-88. 10.3141/2072-09.



Las siguientes gráficas (Figura 38) muestran la velocidad promedio por tramo de la Línea 1 del Metrobús (sentido norte-sur, "ida"), diferenciando los periodos pico de mañana, pico de tarde y valle de tarde. En ellas se puede observar que existe una variabilidad importante entre tramos, con velocidades que oscilan entre 10 km/h y 35 km/h.

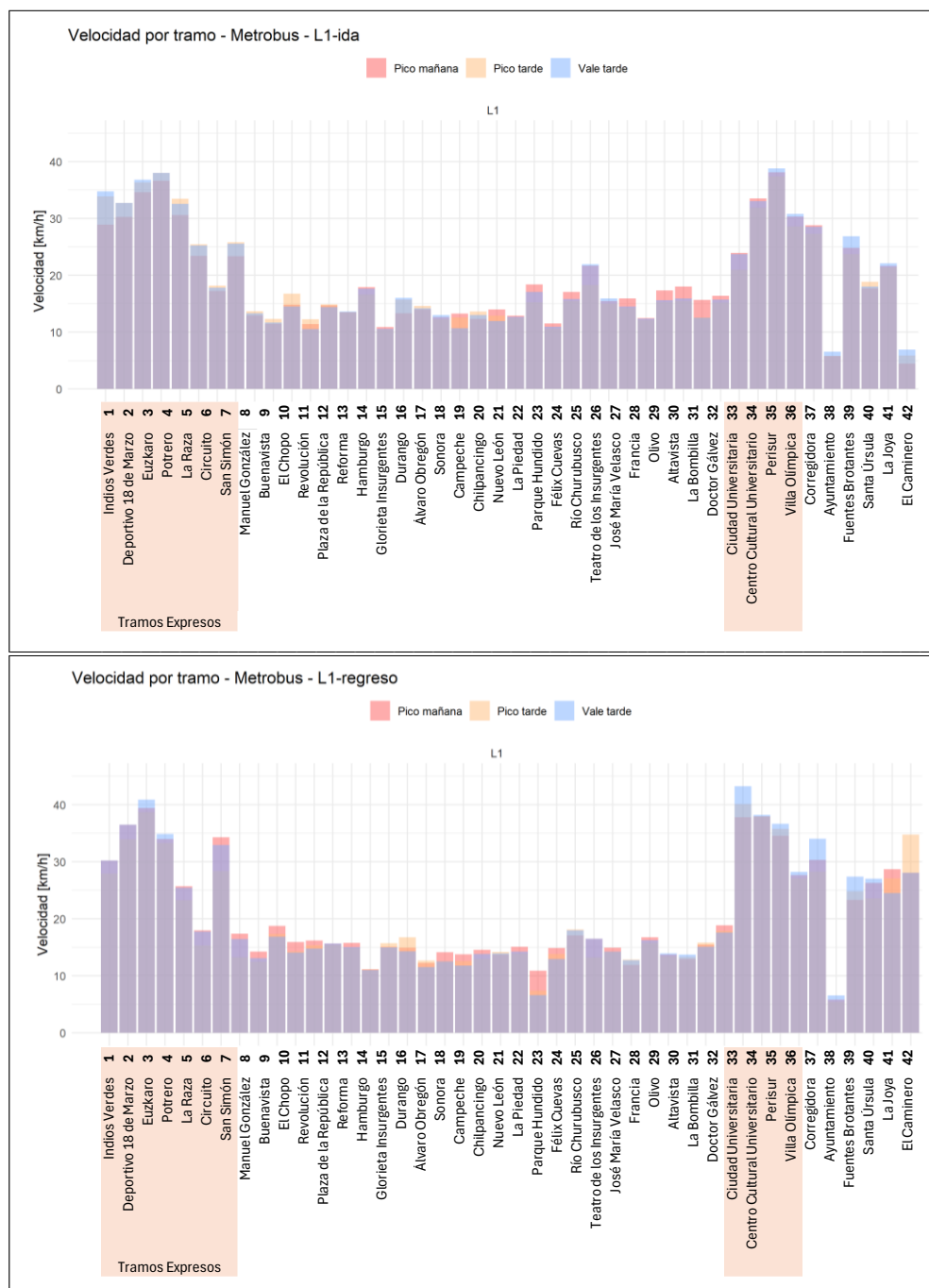


Figura 38. Análisis de velocidades promedio por tramo del Corredor Insurgentes línea 1 de Metrobús, . Fuente: Freiberg, G., et. Al (2022)



En este corredor, los tramos expresos, ubicados principalmente al norte (entre *Indios Verdes* y *San Simón*) y al sur (entre *Ciudad Universitaria* y *Perisur*), presentan velocidades significativamente superiores, alcanzando valores cercanos a 35–40 km/h. En contraste, los tramos céntricos (entre *Reforma* y *Glorieta de los Insurgentes*, incluyendo *Durango*, *Álvaro Obregón* y *Chilpancingo*) muestran las menores velocidades, con promedios de 10–15 km/h, debido a la alta densidad de intersecciones semaforizadas, presencia de cruces peatonales y la alta carga de ascenso y descenso de pasajeros.

7.2.3. Factores que Afectan la Velocidad de Operación en Corredores BRT

La velocidad de operación en un sistema BRT depende de una combinación de factores físicos, operativos y de gestión. A continuación, se presentan los principales grupos de variables que influyen en el desempeño del sistema:

Factores de infraestructura y geometría:

- Tipología del corredor (a nivel, segregado o soterrado).
- Diseño geométrico y topográfico (pendientes, radios de giro, número de intersecciones).
- Distancia promedio entre estaciones.
- Grado de segregación del carril exclusivo.
- Presencia de carriles de sobrepaso en estaciones.

Factores operativos:

- Existencia y nivel de prioridad en intersecciones semaforizadas.
- Nivel de congestión vehicular (según nivel de servicio A–E del HCM).
- Frecuencia, duración y regularidad de las detenciones en estaciones.
- Volumen de pasajeros y tiempos de abordaje/descenso.
- Número y proporción de servicios expresos o paradores.

Factores de gestión y control:

- Nivel de control operacional y gestión centralizada de flota.
- Regularidad de frecuencias y cumplimiento de programación.
- Interferencia con otros modos (cruces peatonales, giros vehiculares, accesos a estacionamientos).

En conjunto, estos factores determinan la velocidad comercial alcanzable en cada tipo de corredor BRT, influenciando directamente los tiempos de viaje, la capacidad y la eficiencia operativa del sistema.



7.3. Metodología Aplicada en el Corredor de Montevideo

Con base en el contexto técnico y conceptual presentado en las secciones anteriores, en esta consultoría se desarrolló una metodología específica para construir un análisis de marcha tipo orientado a capturar las principales variables que influyen en el resultado de velocidad del proyecto. Este enfoque busca integrar de forma coherente los aspectos físicos y operativos del corredor, permitiendo una estimación precisa de los tiempos de recorrido y de la eficiencia operativa esperada.

7.3.1. Alcance del Análisis

El sistema proyectado en principio considera el uso de **autobuses biarticulados de 25 metros** (que también serían compatibles con vehículos de menor longitud), de **piso bajo** y con **puertas al lado izquierdo o bilateral**, alimentados por **tecnología eléctrica**. El esquema de recaudo prevé **prepago electrónico (pago en estación/parada)** y un sistema de control centralizado de flota.

El análisis cubre el tramo comprendido entre **Zonamérica (Ruta 8)** y **Plaza Independencia** abarcando los ejes de **Ruta 8, Camino Maldonado, 8 de Octubre y 18 de Julio**, con su **extensión a Ciudad Vieja (25 de Mayo, Lindolfo Cuesta y Reconquista)**.

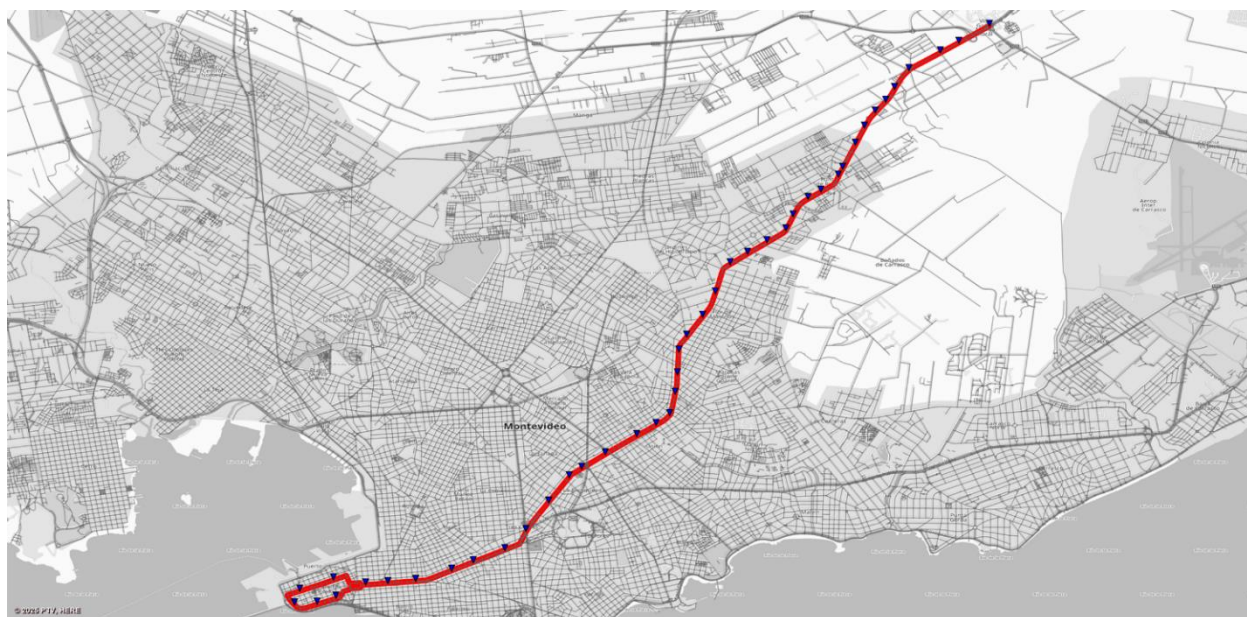


Figura 39. Trazo del corredor y de ciclo de marcha para el análisis de velocidades. Fuente: Elaboración propia

Para este trazado se evaluaron los siguientes escenarios:

- **Escenario Actual.** Condiciones actuales de operación: Corresponde a las condiciones vigentes de operación y vialidad del sistema de transporte público sobre el eje 8 de Octubre.
 - Para el tramo Zonamérica – Plaza Independencia, se utilizó como referencia la ruta 103, representativa del patrón operativo actual y de las condiciones típicas de flujo del corredor principal.



- Para el circuito de Ciudad Vieja, se emplearon las paradas equivalentes del circuito 25 de Mayo – Lindolfo Cuesta – Buenos Aires, operado, por ejemplo, por la ruta 188, a fin de reproducir el patrón real de recorrido en la zona central.
 - Este escenario refleja la situación base del transporte público, operando en carriles mixtos, con control semafórico convencional, alta densidad de intersecciones y condiciones de congestión variables, especialmente en el tramo central entre Tres Cruces y Plaza Independencia, con validación abordo (pago abordo) ingresando únicamente por puerta delantera sin acceso a nivel.
- **Escenario Proyecto Metropolitano – Corredor BRT 8 de Octubre.** Representa las condiciones de operación previstas con la implementación del sistema BRT Metropolitano, siguiendo el trazado propuesto por los ejes Ruta 8 – Camino Maldonado – 8 de Octubre – 18 de Julio – Ciudad Vieja. El proyecto incorpora adecuaciones de infraestructura orientadas a mejorar la continuidad operacional, la seguridad y la eficiencia del transporte público, descriptas en el apartado anterior, y que sirven de base para el análisis de marcha tipo, incluyendo:
 - Soterramiento del tramo Tres Cruces – Plaza Independencia, que elimina todas las intersecciones y giros a nivel, constituyendo un corredor confinado con operación exclusiva para el BRT.
 - Soterramiento existente en Tres Cruces, el cual incluye una estación subterránea y se conecta funcionalmente al nuevo tramo soterrado descrito en el punto anterior.
 - Soterramiento de dos cruces relevantes, que reducen interferencias transversales y mejoran la velocidad de flujo del corredor.
 - Av. Luis Alberto de Herrera – Centenario
 - Blvd. Batlle y Ordóñez
 - Implementación de cruces peatonales semaforizados en las salidas de las estaciones planteadas por el proyecto, garantizando la seguridad de los peatones en los puntos de acceso desde los andenes centrales hacia las aceras de la vialidad.
 - **Alternativa a nivel del tramo Tres Cruces – Plaza Independencia:** Corresponde a una variante del escenario con proyecto, en la cual el tramo Tres Cruces – Plaza Independencia se mantiene a nivel, con carriles exclusivos para el BRT y prioridad semafórica en intersecciones.

Este escenario permite evaluar los efectos comparativos entre la opción soterrada y una alternativa de BRT en superficie, en términos de velocidad, demoras y eficiencia operativa, manteniendo el resto del corredor y la configuración general del sistema iguales al Escenario 2 principal.

En el escenario evaluado y su alternativa a nivel para el tramo Tres Cruces – Plaza Independencia se consideraron las mismas 38 paradas descritas en la siguiente tabla.



Tabla 5. Listado de tramos y distancia en inter-estaciones. Fuente: Elaboración propia

	Dsitancia promedio en ambos sentidos [m]
Zonamérica - Plaza Independencia	
Zonamerica - Mgap	802
Mgap - Angel Zanelli	818
Angel Zanelli - Marcelino Champagnat km16	231
Marcelino Champagnat km16 - Arroyo Manga - Costanera	625
Arroyo Manga - Costanera - Miguel Estevez	384
Miguel Estevez - F. Rodriguez	340
F. Rodriguez - Leandro gomez	185
Leandro gomez - Plutón	547
Plutón - Cerdeña	495
Cerdeña - Escuela 179	221
Escuela 179 - Estepona	520
Estepona - Marbella	318
Marbella - Rosario	556
Rosario - Chacarita de los Padres	251
Chacarita de los Padres - Susana Pintos - Génova	379
Susana Pintos - Génova - Venecia y 17 mts	478
Venecia y 17 mts - Libia - Rafael	348
Libia - Rafael - Cochabamba - Celiar	758
Cochabamba - Celiar - Roma - Areguati	559
Roma - Areguati - Intercambiador Belloni	532
Intercambiador Belloni - Smidel - Piccioli	394
Smidel - Piccioli - Vera - Villademoros	531
Vera - Villademoros - 21 abril - 20 Febrero	401
21 abril - 20 Febrero - Silvestre Perez - PA	525
Silvestre Perez - PA - Larravide - Forteza	342
Larravide - Forteza - Comercio - Viana	452
Comercio - Viana - Abreu - Propios	609
Abreu - Propios - M Moreno - Centenario	528
M Moreno - Centenario - Cibils - Gremca	450
Cibils - Gremca - Albo	678
Albo - Tres Cruces	897
Tres Cruces - Requena y Paullier	506
Requena y Paullier - Ed.Acevedo - F.Crespo	636
Ed.Acevedo - F.Crespo - Minas - Magallanes	492
Minas - Magallanes - Yaguarón - Ejido	726
Yaguarón - Ejido - Rio Negro - Paraguay	518
Rio Negro - Paraguay - Andes - Convención	412
Andes - Convención - Plaza Independencia	195
Distancia media entre paradas	491
Longitud total	18,642
Circuito Ciudad Vieja	
Independencia - Carlos Gomez - Ituzaingo	586
Perez Castellano - Maciel	679
Sarandi - Bs As	499
Colón - Alzábar	474
Treinta y Tres - Ituzaingo	356
Ituzaingo - Plaza Independencia	512
Distancia media entre paradas	518
Longitud total	3,106



7.3.2. Atributos Relevantes para la Marcha Tipo

A. Perfil del Corredor

Se realizó un levantamiento de la totalidad del corredor, segmentando éste por tramos definidos entre nodos principales: paradas, intersecciones semaforizadas, no semaforizadas y puntos relevantes como retornos en U. Cada uno de estos segmentos fue clasificado según longitud, tipo de vía y control de tránsito en nodos e intersecciones. La clasificación de nodos adoptada para fines del análisis de marcha tipo es la siguiente:

- Sin intersección
- Intersección no semaforizada
- Convergencia no semaforizada (Y, retorno en U, giro izquierdo o derecho)
- Convergencia "Y" Semaforizada
- Intersección semaforizada
- Parada

Algunos de estos nodos pueden ser registrados en la herramienta de análisis como nodos “sin intersección” debido a que estos no representan una demora en el análisis de marcha tipo; sin embargo, se mantienen por cuestiones de relevancia espacial o para identificar cambios en la geometría vial como la eliminación de retornos en U o giros izquierdos o derechos.

B. Velocidad permitida de la vía en condiciones de flujo libre

Este concepto se refiere a la velocidad máxima reglamentaria o técnicamente admisible en condiciones de tránsito libre, sin interferencias ni congestión, determinada según la jerarquía vial y las características geométricas del corredor. En este sentido, es importante destacar que la parametrización adoptada para este atributo debe representar la velocidad de conducción de ómnibus en las condiciones del tramo tanto para la situación actual, como para la situación con proyecto. En resumen, este parámetro representa la referencia base para estimar la velocidad de flujo libre en cada tipo de vía.

Las velocidades adoptadas corresponden a rangos congruentes con normas de diseño vial urbano y manuales de capacidad de transporte urbano, como la guía Urban Street Design Guide (NACTO), el *Highway Capacity Manual (TRB)*, así como el Reglamento Nacional de Circulación Vial (Decreto N° 118/984).



Tabla 6. Valores utilizados en el análisis

Clasificación de tramo vial	Descripción	Velocidad representativa del transporte público (km/h)
Local	Aplicado principalmente en el contexto vial de Ciudad Vieja.	30
Distribuidora *	Aplicado como un ajuste a la velocidad reglamentaria de 45 km/hr en tramo 18 de Julio por condiciones de densidad vial y entorno urbano.	40
Arterial	Aplicado como un ajuste a la velocidad reglamentaria de 60 km/hr en general para los tramos Ruta 8, Camino Maldonado, 8 de octubre y los tramos de carril exclusivo en superficie de la situación proyecto.	45
Expresa	Utilizada para los tramos totalmente confinados por soterramiento, en condiciones actuales (Tramo Tres Cruces) y en la situación con proyecto para todos aquellos tramos considerados para soterramiento.	60

Fuente: Elaboración propia

Estas velocidades fueron empleadas como referencia para el cálculo de la **velocidad de flujo libre** en los distintos segmentos del corredor, sirviendo de límite superior para la simulación de los perfiles de velocidad en condiciones óptimas de operación. Dicho valor busca representar un flujo estable y característico del transporte público, siendo inferior a la velocidad máxima reglamentaria, ya que en la práctica no siempre es posible alcanzarla ni sostenerla a lo largo de todo el recorrido debido a restricciones geométricas, operativas o de interacción con el entorno urbano.

C. Saturación del carril

Este parámetro permite representar el nivel de ocupación del carril por vehículos en relación con su capacidad máxima teórica. Representa el grado de congestión y afecta directamente la velocidad de flujo libre alcanzable. En el escenario actual, donde las rutas de transporte público operan en carril mixto, la saturación varía según el nivel de servicio (A–E). En los escenarios con proyecto BRT, se considera carril segregado con saturación correspondiente al **nivel A**, es decir, flujo libre.

Los niveles de saturación y sus equivalencias de velocidad relativa se basan en el *Highway Capacity Manual (HCM, TRB)*, donde el nivel A representa flujo libre con mínima interferencia y el nivel E corresponde a condiciones de congestión extrema. Este esquema es utilizado ampliamente en evaluaciones de capacidad y desempeño operacional en corredores urbanos.

Los valores utilizados en el análisis son:



Tabla 7. Factor de velocidad de flujo libre aplicada en función de clasificación de saturación vial

Nivel de Servicio / Saturación	Velocidad relativa respecto al flujo libre
A	100%
B	70%
C	50%
D	30%
E	20%
F	5%

Fuente: Elaboración propia

D. Tasa de aceleración y frenado

Este parámetro describe la variación de velocidad del vehículo en función del tiempo, tanto al aumentar (aceleración) como al disminuir (frenado). Es fundamental en la construcción del perfil de marcha tipo, ya que determina el comportamiento dinámico del autobús en arranques, aproximaciones a paradas y maniobras de detención. Los valores dependen de las características del vehículo, la carga, el tipo de vía y las condiciones de confort o seguridad requeridas.

Los valores de aceleración y desaceleración para autobuses urbanos biarticulados provienen de estudios empíricos y guías de operación BRT, incluyendo TRB TCRP Report 26⁵ y TFL Bus Safety *Standard, Bus braking data analysis*⁶. De acuerdo con estos estudios, los rangos típicos varían según la condición de conducción. Para la parametrización de tasas de aceleración y frenado de este estudio se establecieron las siguientes categorías.

Para el **escenario actual** se asumió una **situación de conducción "Cómoda"** mientras que para el **escenario con BRT**, con mayores garantías de diseño y operación, se utiliza un escenario de **conducción "Normal BRT"**

Tabla 8. Tasas de aceleración y frenado adoptadas en el estudio

Condición de conducción	Aceleración (m/s ²)	Desaceleración (m/s ²)
Tranquila (confort máximo)	0.6	- 0.8
Media (operación normal urbana)	1.0	- 1.2
Normal BRT (flujo continuo y demanda media-alta)	1.3	- 1.8
Agresivo / persecución	2	- 3.0

Fuente: Elaboración propia

⁵ Transportation Research Board. (1997). *Operational analysis of bus lanes on arterial streets* (TCRP Report 26). National Academy Press, chapter 4, pp 67 https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_26-b.pdf

⁶ Transport for London. (2022). *Bus Safety Standard, Bus braking data analysis, PUBLISHED PROJECT REPORT PPR1013*, pp3. <https://content.tfl.gov.uk/bus-safety-standard-bus-braking-data-analysis.pdf>



Tabla 9. Comparativo de tasas de aceleración obtenidas de estudios y referencias técnicas específicas

Referencia	Contexto / tipo de vehículo	Aceleración típica (m/s^2)	Desaceleración típica (m/s^2)
Frej et al. (2023), <i>Experimental Study on Longitudinal Acceleration of Urban Buses and Coaches</i>	Autobuses urbanos y de media distancia en condiciones reales	2.1, hasta 4.9 (pico)	2.7 (media), hasta 4.9 (pico)
Keller et al. (2023), <i>Accelerations of Public Transport Vehicles: Representative Acceleration/Deceleration Pulses</i>	Vehículos de transporte público urbano	0.6–1.4	0.8–2.5
Transport for London (2022), <i>Bus Safety Standard: Bus Braking Data Analysis</i>	Autobuses urbanos de Londres (ensayos de seguridad)	≤ 1.5	≤ 1.0 (normal) / 2.5 (emergencia)
Xu et al. (2017), <i>Acceleration and Deceleration Calibration of Operating Buses</i>	Autobuses urbanos chinos (datos reales de operación)	0.8–1.2	1.0–2.0
TRB, <i>TCRP Report 26</i> (1997)	Guía técnica para diseño operacional BRT	0.8–1.2	1.2–1.8

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la mayoría de los estudios ubican las aceleraciones de confort entre 0.6 y 1.5 m/s^2 , y las desaceleraciones entre 0.8 y 1.8 m/s^2 , con picos de emergencia que pueden alcanzar 2.5–3.0 m/s^2 . Estos valores respaldan las tasas adoptadas en el presente análisis para autobuses biarticulados eléctricos en condiciones BRT urbanas.

E. Intersecciones (semaforizadas y no semaforizadas)

Este parámetro modela el efecto de las intersecciones sobre la marcha tipo, diferenciando entre semaforizadas y no semaforizadas. Se aplicó un factor probabilístico por cruce, usando un número aleatorio y una probabilidad de paso/parada derivada del reparto semafórico (para cruces con semáforo) o de la prioridad vial (para cruces sin semáforo). El resultado afecta la velocidad efectiva y agrega demoras por detención o por interferencias menores.

Metodología de asignación de probabilidad:

- **Intersecciones semaforizadas:**
 - Probabilidad de **paso** del corredor principal: $P_{\text{paso}} = \text{tiempo verde} / \text{tiempo ciclo}$.
 - Probabilidad de **paro** del corredor principal: $P_{\text{paro}} = 1 - P_{\text{paso}}$
 - Cuando ocurre **paro**, se agrega la demora correspondiente (tiempo de rojo remanente), distribuida según el ciclo.
 - Con la información provista por el Centro de Gestión de Movilidad (IMM), se compiló y sistematizó la base de datos de tiempos de ciclo y tiempos de verde de los semáforos ubicados en los corredores 18 de Julio y 8 de Octubre, lo que permitió caracterizar operativamente todas las intersecciones semaforizadas del corredor. Los tiempos de ciclo y fases de verde utilizados en el análisis se presentan en la tabla siguiente.
- **Intersecciones no semaforizadas:**
 - Se asume **prioridad del corredor del proyecto**; se asigna y con una **demora de hasta 5 s** cuando hay interferencia (ceder el paso/ajuste de velocidad).



Tabla 10. Fase semafórica adoptadas en el análisis (situación actual):

Eje	Intersección	Ciclo_AM	Verde_AM	Ciclo_PM	Verde_PM	Ciclo semafórico Medio	Tiempo de verde Medio	% fase verde
18Jul	Acevedo Diaz	66	30	66	39	66	35	52%
18Jul	Andes	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Arenal Grande	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Carlos Roxlo	66	33	66	33	66	33	50%
18Jul	Constituyente, German Barbato	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Convencion	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Cuareim	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Eduardo Acevedo	66	42	66	42	66	42	64%
18Jul	Ejido	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Fernandez Crespo, Rivera y Brandzen	66	33	66	39	66	36	55%
18Jul	Gaboto	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Julio Herrera y Obes	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Magallanes	66	33	66	33	66	33	50%
18Jul	Martin C Martinez	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Minas	66	45	66	45	66	45	68%
18Jul	Pablo de Maria	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Paraguay	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Paullier	66	33	66	33	66	33	50%
18Jul	Plaza Cagancha E	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Plaza Cagancha W	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Plaza Independencia	66	39	66	39	66	39	59%
18Jul	Requena	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Rio Branco	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Rio Negro	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Tacuarembó	66	36	66	36	66	36	55%
18Jul	Tristan Narvaja	66	42	66	42	66	42	64%
18Jul	Vazquez	66	39	66	39	66	39	59%
18Jul	Yaguaron	66	33	66	33	66	33	50%
18Jul	YI	66	36	66	36	66	36	55%
18 de Julio Promedio		66	36	66	37	66	36	55%
8Oct	Cdte. Braga	75	54	75	54	75	54	72%
8Oct	Estero Bellaco	75	54	75	54	75	54	72%
8Oct	F. Sanguinetti, M. Stagnero de Munar	75	54	75	54	75	54	72%
8Oct	Garibaldi, Urquiza	75	30	75	36	75	33	44%
8Oct	J. Serrato, C. Miró, Larravide	75	48	75	48	75	48	64%
8Oct	Jaime Cibils			75	51	75	51	68%
8Oct	L. Forteza, F. Laborde, S. Perez	75	54	75	54	75	54	72%
8Oct	M. Moreno	75	51	75	51	75	51	68%
8Oct	Pan de Azúcar, Raissignier	75	54	75	51	75	53	70%
8Oct	Pernas, Comercio, Gobernador Viana	75	51	75	51	75	51	68%
8Oct	Presidente Berro, Urquiza	75	45	75	42	75	44	58%
8Oct	20 de Febrero	90	33	90	39	90	36	40%
8Oct	Belén	90	66	90	66	90	66	73%
8Oct	Belloni, Veracierto	90	33	90	33	90	33	37%
8Oct	Grat Villagrán	90	66	90	66	90	66	73%
8Oct	Habana	90	48	90	51	90	50	55%
8Oct	Piccioli, Smide	90	48	90	48	90	48	53%
8Oct	Vicenza, Pirineos	90	45	90	45	90	45	50%
8Oct	Agustín Abreu	102	72	102	72	102	72	71%
8Oct	Bv Battle y Ordonez	102	48	102	48	102	48	47%
8Oct	Centenario	102	51	102	51	102	51	50%
8 de Octubre Promedio		84	50	84	51	84	50	60%

Fuente: Elaboración propia, con información provista por el Centro de Gestión de Movilidad, Intendencia de Montevideo.



F. Tiempo de parada

Este parámetro se refiere al tiempo que el vehículo permanece detenido en una parada o estación para realizar las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros, incluyendo las demoras asociadas a la apertura y cierre de puertas y al acomodamiento del flujo de pasajeros. Se utiliza para estimar la demora por servicio en cada punto de parada.

En esta etapa del estudio, se adoptó una clasificación preliminar de paradas en función de la identificación de potenciales intercambios de pasajeros, la cual será ajustada posteriormente con los datos finales de embarques y desembarques que se obtengan a partir de los resultados del modelo de demanda desarrollado en este estudio.

Tabla 11. Valores adoptados en la clasificación para la clasificación de paradas

Clase	Descripción operativa	Tiempo base (s)	Uso típico	Capacidad de embarque sistema actual	Capacidad de embarque (movimientos) con BRT con 6 puertas ⁷ .
1	Paradas bajas del sistema actual (ruta actual)	3	Bajos ascensos/descensos; 1 puerta, pago a bordo	1 pax	11 – 15 pax
2	Parada mínima BRT/nivel intermedio paradas sistema actual	7	Parada intermedia o estación BRT con bajo intercambio; embarque a nivel	2-3 pax	26 – 35 pax
3	Parada intermedia BRT	20	Parada de alto intercambio o Estación con intercambio medio; flujo bidireccional	20 pax	75 – 100 pax
4	Parada en terminal BRT	30	Terminal BRT Alta rotación; redistribución interna del pasaje	30 pax	113 -150 pax

Fuente: Elaboración propia

Notas: (i) los valores son **referenciales** y representan un **máximo teórico** bajo flujo continuo de embarque; (ii) en operación real, el **cociente abordaje/descenso** y la **distribución de pasajeros por puerta** condicionan el dwell efectivo; (iii) el escenario BRT considera la **recaudación fuera de vehículo** y el **embarque a nivel** tienden a reducir materialmente tiempo de embarque.

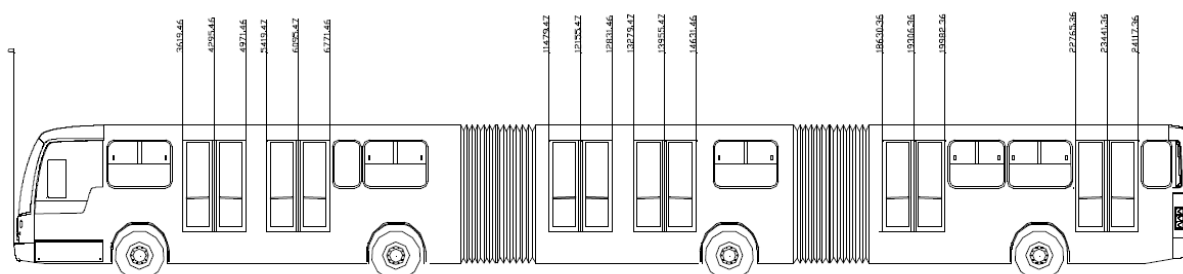


Figura 40. Vista lateral de autobús biarticulado con detalle de localización de puertas. Fuente, Metrobús, Ciudad de México

⁷ 6 puertas de doble hoja agrupadas en 4 módulos.



Tabla 12. Categorías y tiempos de parada adoptados en la clasificación PRELIMINAR de paradas

Tramo / parada	Tiempo de parada (s)	Tramo / parada	Tiempo de parada (s)
5 - Ruta 8: Libra Zonamerica		4 - Camino Maldonado: Belloni - Libra	
Zonamerica	20	Estepona	7
Mgap	7	Marbella	7
Angel Zanelli	7	Rosario	7
Marcelino Champagnat km16	7	Chacarita de los Padres	7
Arroyo Manga - Costanera	7	Susana Pintos - Génova	7
Miguel Estevez	7	Venecia y 17 mts	7
F. Rodriguez	7	Libia - Rafael	7
Leandro gomez	7	Cochabamba - Celiar	7
Plutón	7	Roma - Areguati	7
Cerdeña	7		
Escuela 179	7		
3 - 8OCT: Pan de Azúcar - Belloni		2 - 8OCT: Berro - Pan de Azúcar	
Intercambiador Belloni	20	Silvestre Pérez - PA	7
Smidel - Piccioli	7	Larravide - Forteza	7
Vera - Villademoros	7	Comercio - Viana	7
21 abril - 20 Febrero	7	Abreu - Propios	7
		M Moreno - Centenario	7
		Cibils - Gremca	7
		Albo	7
1 - 18 de Julio - Tres Cruces		0 - Ciudad Vieja	
Tres Cruces	20	Carlos Gomez - Ituzaingo	7
Requena y Paullier	7	Perez Castellano - Maciel	7
Ed.Acevedo - F. Crespo	7	Sarandí - Bs As	7
Minas - Magallanes	7	Colón - Alzábar	7
Yaguarón - Ejido	20	Treinta y Tres - Ituzaingo	7
Rio Negro - Paraguay	7		
Andes - Convención	20		

Fuente: Elaboración propia

Nota: esta clasificación de tiempos de parada permitiría un total de al menos 1300 movimientos de pasajeros (650 ascensos y 650 descensos), para un vehículo biarticulados o 900 movimientos de pasajeros (450 ascensos y 450 descensos) para un vehículo articulado; permitiendo una rotación de 2.8 veces la capacidad del vehículo para ambas alternativas de vehículo.

7.4. Resultados del análisis de marcha tipo

Los resultados presentados en esta sección corresponden a la media de 100 iteraciones del modelo de análisis, lo cual permite estabilizar los valores obtenidos para las variables de tiempo y velocidad por tramo del corredor. Cada iteración del modelo incorpora un componente aleatorio asociado a la probabilidad de detención en intersecciones, que busca reflejar el comportamiento estocástico del tránsito y la variabilidad operativa del sistema.

Dado que en una única simulación los resultados podrían mostrar fluctuaciones arbitrarias —particularmente en tramos con alta densidad de cruces semafORIZADOS—, la promediación de múltiples iteraciones permite obtener una representación más robusta y estadísticamente estable del desempeño operacional esperado bajo cada escenario.



7.4.1. Marcha tipo de la situación actual

La metodología de marcha tipo se aplicó para estimar los tiempos de recorrido en la situación actual, con el fin de contar con una base de comparación respecto a los escenarios con proyecto. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Resultados de la aplicación de la metodología de Marcha Tipo para el escenario Actual

Sentido / Tramo	Periodo pico mañana (7 a 9 am)		Periodo pico tarde (5 a 7 pm)	
	Velocidad comercial [km/hr]	Tiempo de recorrido [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Tiempo de recorrido [min]
Ciclo Zonamérica - Independencia - Zonamérica	16.45	136.35	16.12	139.10
Sentido Centro	15.64	71.66	16.39	68.39
Sentido Barrio	17.35	64.70	15.87	70.70
Ciudad Vieja	14.71	12.67	11.32	16.45

Fuente: Elaboración propia

La comparación de estos resultados con los valores provenientes del análisis operativo elaborado dentro del Estudio de Prefactibilidad muestra un alto grado de consistencia. En particular, para el sentido Barrio en el periodo pico vespertino, el modelo de marcha tipo estima un tiempo de recorrido de 70.7 minutos, lo que representa una variación menor al 4% respecto del valor reportado anteriormente en los estudios de prefactibilidad. Esto confirma que la metodología implementada reproduce adecuadamente las condiciones de operación observadas en la situación actual.

7.4.2. Resultados generales - Velocidad operacional del corredor

Esta sección presenta los resultados globales del análisis de marcha tipo, expresados en términos de velocidad comercial promedio para el corredor completo en los tres escenarios evaluados: **situación actual**, **BRT con tramo soterrado en 18 de Julio** y **BRT con tramo 18 de Julio en superficie**.

Los resultados muestran un incremento significativo en la velocidad comercial del sistema con la implementación del BRT.

- El escenario **soterrado** alcanza **24,7 km/h**, un 51 % superior al actual.
- El escenario en **superficie** llega a **21,3 km/h**, con un aumento del 31 %.
- Las diferencias por sentido son leves (<1 km/h), lo que indica buena regularidad entre direcciones.



Tabla 14. Velocidad comercial; Media corredor ambos sentidos y por sentido.

Sentido / Tramo	Escenario BRT Soterrado 18 de Julio	Escenario BRT Superficie 18 de Julio
	Velocidad comercial [km/hr]	
Zonamérica – Independencia (Velocidad media Ida y vuelta)	24.72	21.37
Sentido Centro	25.49	21.92
Sentido Barrio	24.01	20.85
Ciudad Vieja	18.0	

En cuanto a los **tiempos de recorrido totales** (ida y vuelta) y los **ahorros** obtenidos respecto al escenario actual, el **BRT soterrado reduce el tiempo total de recorrido de 139 min a 90,8 min** (Ida y vuelta Zonamérica – Independencia), logrando un **ahorro de 45,5 min (33 %)**, mientras que el **BRT en superficie alcanza 105.1 min (23 % menos)**. En el circuito **Ciudad Vieja**, las mejoras se consideran **marginales**, aunque estas pueden lograrse principalmente por la reducción de paradas y una posible reducción en flujo de transporte público y saturación de paradas de la zona.

Tabla 15. Velocidad comercial y tiempos de viaje

Velocidad comercial y tiempos de recorrido (IDA y VUELTA)	Vel [km/hr]	T_total [min]	Ahorro de tiempo vs escenario actual [min]	Ahorro de tiempo vs escenario actual [%]
Escenario con BRT				
BRT 8 de Octubre (tramo 18 de Julio SOTERRADO)	24.7	90.8	45.5	33%
BRT 8 de Octubre (tramo 18 de Julio en SUPERFICIE)	21.4	105.1	31.3	23%
Ciudad Vieja - Extensión BRT	18.7	10.0	2.7	-

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se descompone el tiempo total de recorrido entre periodos en movimiento y tiempos de demora, distinguiendo entre detenciones por servicio (paradas) e intersecciones.



Tabla 16. Velocidad comercial y distribución de tiempos de viaje: tiempo en movimiento vs tiempo detenido

Velocidad comercial y tiempos de recorrido (IDA y VUELTA)	Tiempo en Movimiento [min]	Demora X tiempo detenido [min]	Demora por parada de servicio [min]	Demora por parada en intersección [min]	T_total [min]
Escenario con BRT					
BRT 8 de Octubre (tramo 18 de Julio SOTERRADO)	70.9	19.9	11.0	8.9	90.8
BRT 8 de Octubre (tramo 18 de Julio en SUPERFICIE)	77.0	28.1	11.0	17.1	105.1
Ciudad Vieja - Extensión BRT	8.8	1.2	0.6	0.6	10.0

Fuente: Elaboración propia

7.4.3. Resultados Detallados - Velocidad operacional de los tramos de análisis

Esta sección presenta la velocidad comercial promedio esperada entre estaciones y paradas, diferenciando por sentido y tipo de escenario.

Este análisis permite visualizar el patrón de desempeño a lo largo del corredor. Los tramos de mayor velocidad corresponden tramo soterrado Independencia – Tres Cruces, donde las condiciones de segregación permiten alcanzar superiores a los 30 km/h.

Así mismo, este tramo al mismo tiempo presenta una de las reducciones de velocidad más significativa en los escenarios del BRT en superficie y el escenario actual, lo cual lleva a concluir que la mayor ventaja del escenario con la implementación del túnel en Tres Cruces – Plaza de Independencia, es también el tramo en donde actualmente el transporte público presenta la menor velocidad y mayores tiempos de viaje del corredor. Así mismo, la opción con un BRT en superficie tampoco alcanza velocidades comerciales semejantes a las de los otros tramos del corredor, debido principalmente a la densidad de paradas e intersecciones.



A. Velocidad por tramo del corredor

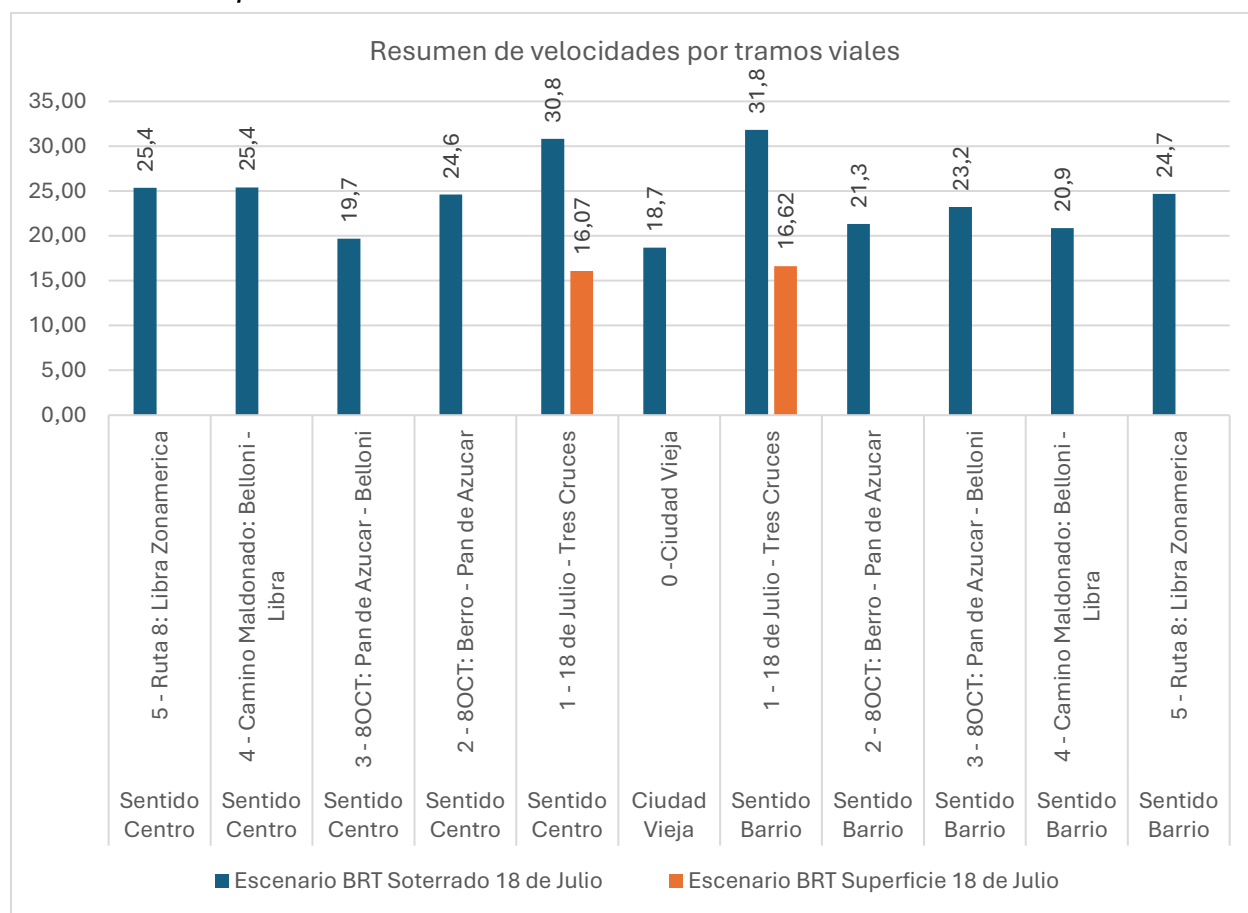


Figura 41. Velocidad Comercial por tramos viales del corredor. Fuente: Elaboración Propia



Tabla 17. Velocidad comercial por tramos viales del corredor 8 de Octubre: Escenario BRT Zonamérica – Ciudad Vieja, con tramo 18 de Julio SOTERRADO.

Sentido	Tramo	Vel [km/hr]	Demora X tiempo detenido [min]	Demora por parada de servicio [min]	Demora por parada en intersección [min]	T_total [min]
Sentido Centro	5 - Ruta 8: Libra Zonamerica	25.35	2.3	1.5	0.8	11.4
Sentido Centro	4 - Camino Maldonado: Belloni - Libra	25.40	2.0	1.1	0.9	10.7
Sentido Centro	3 - 8OCT: Pan de Azúcar - Belloni	19.68	1.8	0.7	1.1	5.5
Sentido Centro	2 - 8OCT: Berro - Pan de Azúcar	24.61	1.7	0.8	0.9	8.6
Sentido Centro	1 - 18 de Julio - Tres Cruces	30.84	1.5	1.5	0.1	7.8
Ciudad Vieja	0 - Ciudad Vieja	18.68	1.2	0.6	0.6	10.0
Sentido Barrio	1 - 18 de Julio - Tres Cruces	31.83	1.5	1.5	0.0	7.7
Sentido Barrio	2 - 8OCT: Berro - Pan de Azúcar	21.34	2.2	0.8	1.4	9.8
Sentido Barrio	3 - 8OCT: Pan de Azúcar - Belloni	23.22	0.8	0.7	0.1	4.8
Sentido Barrio	4 - Camino Maldonado: Belloni - Libra	20.88	3.4	1.1	2.3	12.5
Sentido Barrio	5 - Ruta 8: Libra Zonamerica	24.70	2.8	1.5	1.3	12.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Velocidad comercial del tramo 18 de Julio en SUPERFICIE

Sentido	Tramo	Vel [km/hr]	Demora X tiempo detenido [min]	Demora por parada de servicio [min]	Demora por parada en intersección [min]	T_total [min]
Sentido Centro	1 - 18 de Julio - Tres Cruces	16.07	5.4	1.5	3.9	15.0
Sentido Barrio	1 - 18 de Julio - Tres Cruces	16.62	5.8	1.5	4.3	14.8

Fuente: Elaboración Propia

B. Perfiles de velocidad (resultado demostrativo de una iteración aleatoria)

Se presentan los perfiles de velocidad simulados por punto kilométrico y por tiempo, derivados de las iteraciones del modelo de marcha tipo. El resultado gráfico presentado en este reporte corresponde a un resultado demostrativo de una iteración aleatoria para mostrar el comportamiento de un perfil de velocidad típico de un vehículo, ya que la agregación de datos de múltiples iteraciones no mostraría los perfiles discretos de velocidad, al consolidarse mediante promedios de los diferentes resultados. El objetivo de estos gráficos es mostrar el comportamiento dinámico del bus a lo largo del recorrido.

Los perfiles demuestran una **reducción notable en la variabilidad** de la velocidad y en la frecuencia de detenciones bajo los escenarios BRT, particularmente en el tramo soterrado, donde se logra una operación más continua y estable.



Marcha tipo - Grafico punto kilométrico vs velocidad - Sentido Centro



Figura 42. Perfil de velocidad a por punto kilométrico (distancia, metros) - Sentido Centro. Fuente: Elaboración Propia



Marcha tipo - Grafico punto kilométrico vs velocidad - Sentido Barrio

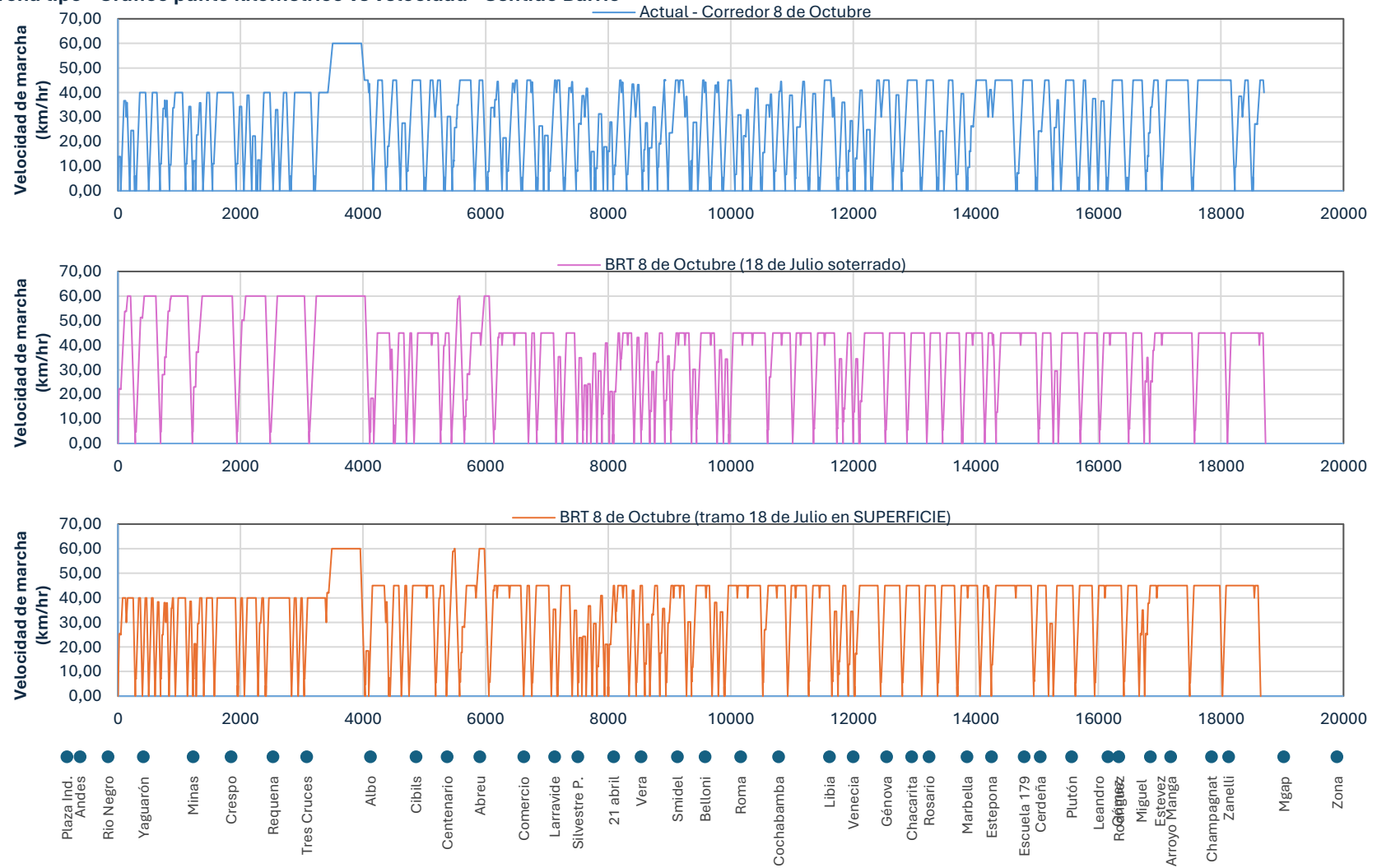


Figura 43. Perfil de velocidad a por punto kilométrico (distancia, metros)- Sentido Barrio. Fuente: Elaboración Propia



Marcha tipo - Tiempo vs velocidad - Sentido Centro

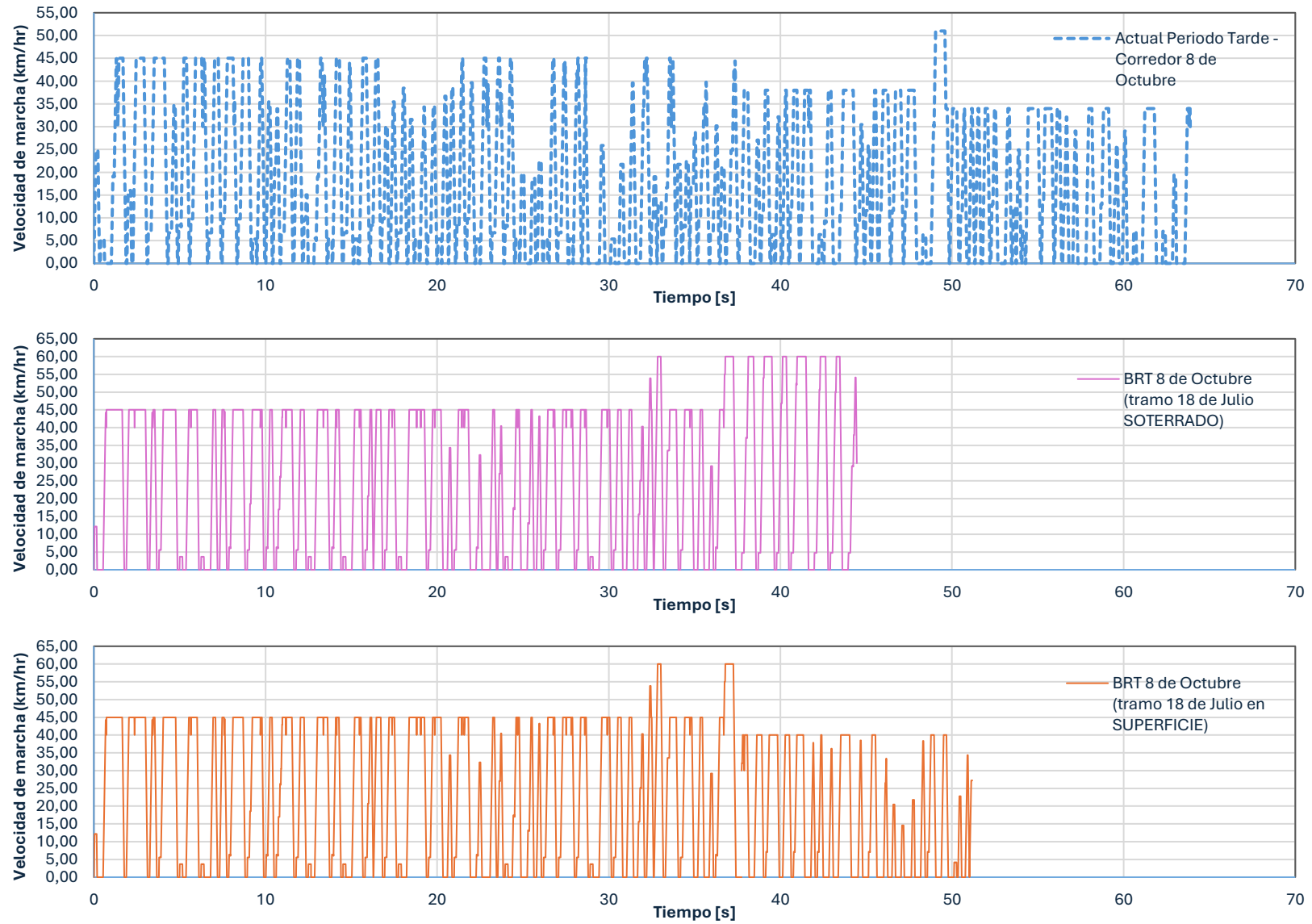


Figura 44. Perfil de velocidad por tiempo (minuto) del ciclo de mapeo - Sentido Centro. Fuente: Elaboración Propia



Marcha tipo - Tiempo vs velocidad- Sentido Barrio

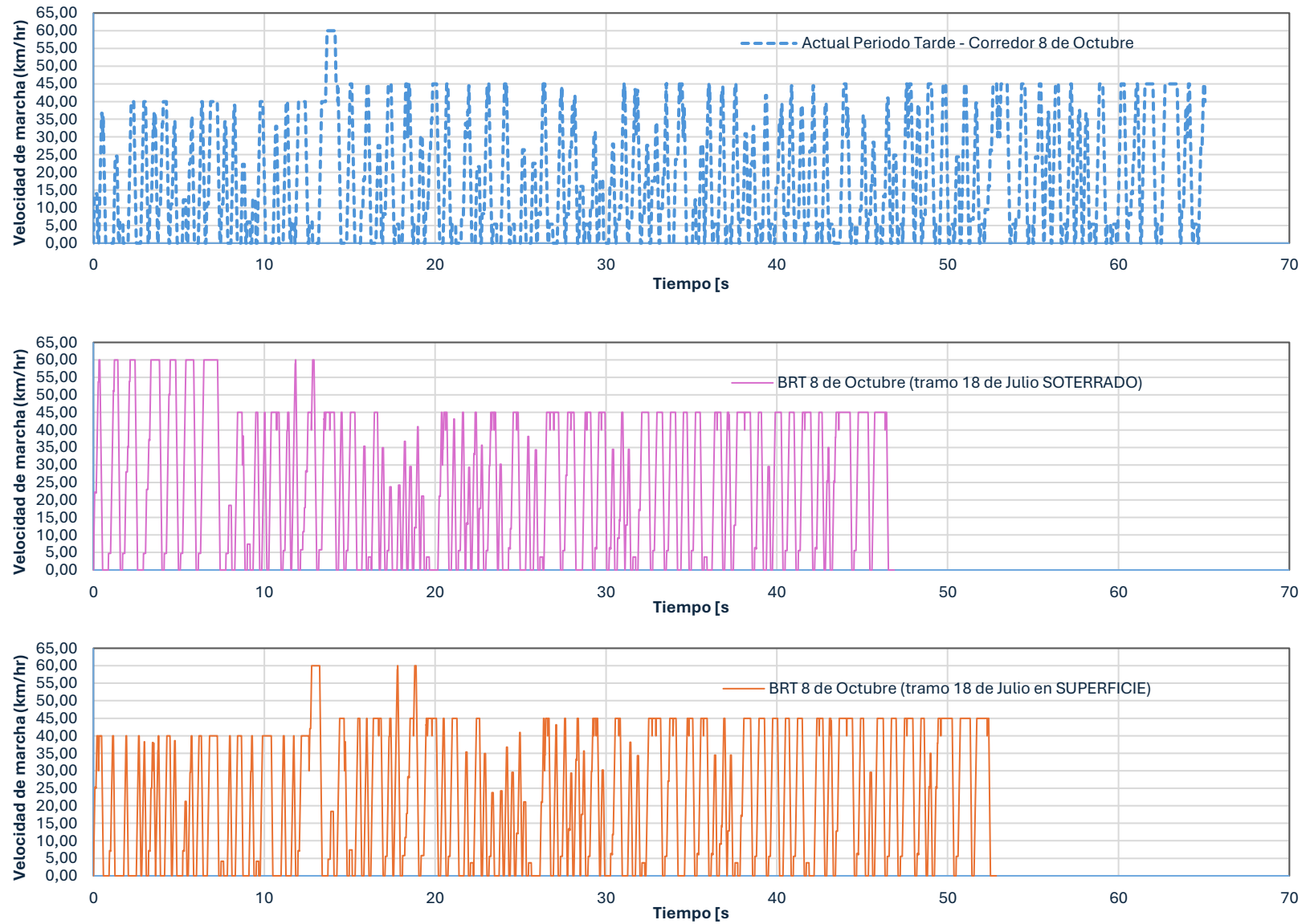


Figura 45. Perfil de velocidad por tiempo (minuto) del ciclo de majeo - Sentido Barrio. Fuente: Elaboración Propia



C. Progresión tiempo- distancia de los vehículos (resultado demostrativo de una iteración aleatoria)

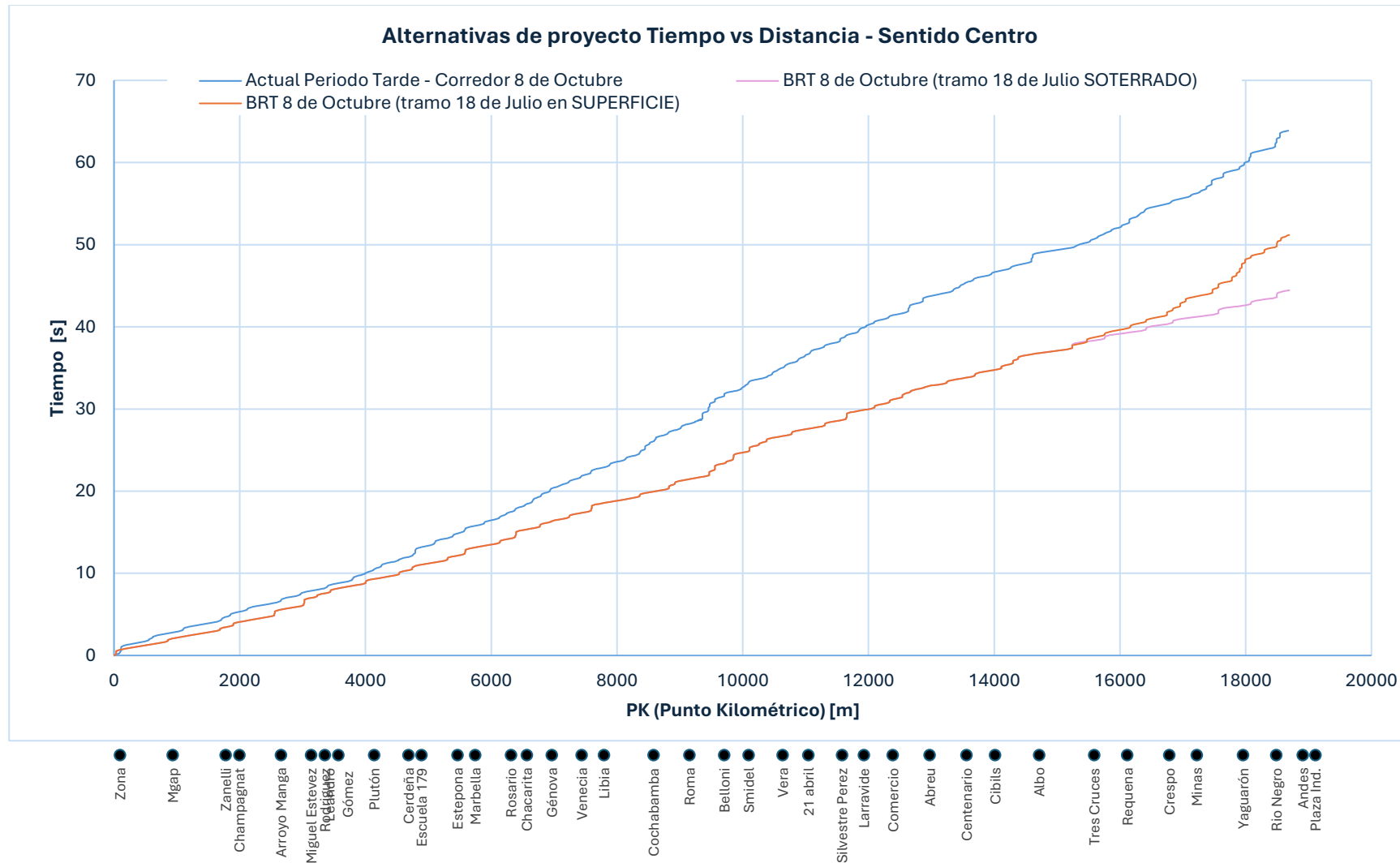


Figura 46. Diagrama tiempos vs distancia de los ciclos de manejo - Sentido Centro. Fuente: Elaboración Propia



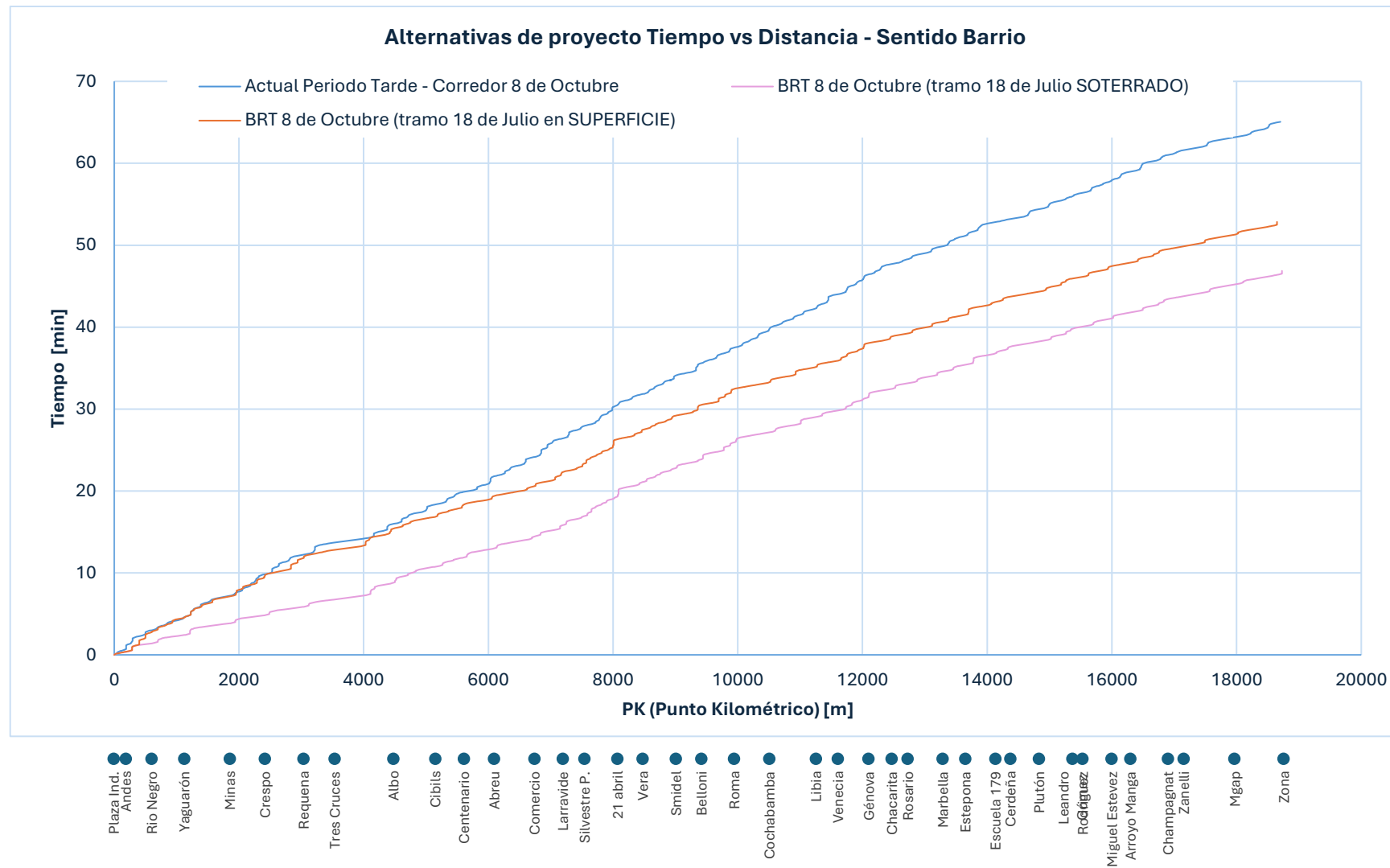


Figura 47. Diagrama tiempos vs distancia de los ciclos de manejo - Sentido Barrio,. Fuente: Elaboración Propia



7.5. Conclusiones del análisis de marcha tipo del proyecto

El análisis de marcha tipo permite evidenciar los impactos directos de las mejoras de infraestructura y gestión sobre las velocidades de operación y los tiempos de recorrido. Los resultados globales muestran que la implementación del sistema BRT generaría reducciones significativas en los tiempos de recorrido a lo largo del eje Zonamérica – Plaza Independencia.

En conjunto, el **tiempo total de recorrido (ida y vuelta)** entre Zonamérica y Plaza Independencia disminuye de 139 min en el escenario actual periodo vespertino a 90,8 min con el soterramiento (-33 %) y a 105 min con el BRT en superficie (-23 %).

En términos generales, el análisis evidencia que **las mayores ganancias de velocidad se concentran en los tramos donde se eliminan interferencias viales y se reduce la frecuencia de paradas**, mientras que **las zonas con mayor interacción urbana y peatonal** continúan siendo los segmentos críticos en términos de velocidad comercial y tiempos de viaje.

El tramo soterrado entre Tres Cruces y Plaza Independencia constituye el **segmento de mayor ganancia en velocidad**, alcanzando valores superiores a 30 km/h con la implementación del BRT, debido a la eliminación de intersecciones y la operación completamente segregada. En contraste, los **tramos en superficie con alta densidad de cruces y paradas**, como Camino Maldonado y 8 de Octubre, mantienen velocidades más bajas, aunque también presentan mejoras respecto al escenario actual por la priorización y la regularidad del flujo.

Asimismo, los resultados confirman que el **escenario BRT en superficie** no logra alcanzar los niveles de desempeño del soterrado, pero aun así ofrece una mejora en la regularidad de operación y reducción de demoras, consolidando un salto de calidad respecto al sistema actual.



8. Modelo de Simulación de Transporte Público Escenario Base

8.1. Introducción

Los modelos de transporte son una representación matemática de la relación entre la oferta y la demanda de un sistema de transporte, y sus resultados permiten realizar diagnósticos y predicciones acerca de los patrones de viaje de una población y estimar el impacto ocasionado por los cambios en la oferta o demanda.

Existen diferentes niveles de modelización de redes que se adecuan a los requerimientos o enfoques de la planificación deseada: estratégico, táctico u operativo. Estos niveles pueden definirse a través de modelos asociados a diferentes escalas, macroscópicos o de mayor escala (representan variables relacionadas con las características del flujo), mesoscópicos o de escala media (donde se puede analizar el comportamiento de un grupo de vehículos) y microscópicos o de menor escala (donde se representan los comportamientos individuales de los vehículos y/o personas).

Dentro de los modelos macroscópicos, existen diferentes abordajes y niveles de detalle compatibles con cada finalidad. Un ejemplo de abordaje estratégico de largo plazo es el modelo clásico de cuatro etapas (generación, distribución, elección modal y asignación de los viajes) desarrollado y consagrado en el siglo veinte basado fuertemente en insumos oriundos de relevamientos de campo. Existen enfoques más simplificados, con modelos que cuentan con un menor complejidad o número de etapas hasta llegar a la asignación de los viajes, o modelos donde solo se desarrolla la última etapa del modelo clásico, es decir, modelos que únicamente realizan la asignación de viajes a las redes. Por otro lado, la enorme disponibilidad de datos generados automáticamente como los sistemas de pago electrónico, los registros vehiculares de GPS, datos de flujos y velocidades de radares, entre otros, ofrecen un gran potencial de usar la *big data*, muy útiles por ejemplo para representar con mayor nivel de detalle el comportamiento observado en la actualidad y, así, generar modelos de evaluación de sistemas específicos de nivel táctico y operacional. El mercado actual presenta diferentes softwares que permiten modelar las distintas escalas de análisis mencionadas. Además, algunos operan con paquetes que permiten la vinculación de diferentes niveles de análisis, mientras que otros solamente presentan uno o dos niveles.

En el caso particular de este estudio, se realiza una representación de la red de transporte público orientada a evaluar algunos aspectos clave del corredor BRT Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de julio, con mayor detalle a lo largo de ese eje, permitiendo representar adecuadamente todas las paradas y estaciones previstas, y los viajes asociados a las rutas que servirán de alimentación a los servicios troncales.

Para la definición de la situación actual o base, se utilizan los insumos de oferta definidos en los **capítulo 3** (zonificación), **capítulo 5** (red de transporte público) y **capítulo 7** (marcha tipo), y las matrices de demanda desarrolladas en el **capítulo 4** (matrices origen-destino), permitiendo generar un modelo de asignación para los periodos pico de la mañana y de la tarde, que son calibrados utilizando los datos de validación por línea y los relevamientos de FOV aportados por el cliente (para mayor detalle de este insumo remitirse al apartado 2 - insumos).

El modelo de simulación de transporte público fue desarrollado en el software PTV Visum, perteneciente a la familia de herramientas PTV Vision de la empresa alemana PTV Group. Este programa es reconocido internacionalmente como una de las plataformas más completas y robustas para el análisis y la planificación estratégica de sistemas de transporte. Su uso está ampliamente validado por instituciones públicas, organismos multilaterales y consultores especializados, lo que garantiza confiabilidad en los resultados obtenidos.



En el presente estudio, PTV Visum fue seleccionado por su capacidad para integrar matrices origen–destino, modelar redes de transporte público a nivel urbano y metropolitano, y evaluar diferentes escenarios de operación y planificación. Estas características lo convierten en la herramienta más adecuada para representar la red de transporte, calibrar el modelo y analizar de manera precisa los niveles de servicio y la saturación de las paradas en el sistema evaluado.

El Modelo desarrollado se conforma de las secciones que se detallan en los siguientes subapartados.

8.2. Modelo de oferta

El modelo de oferta se construye de la red vial y de transporte público, reduciéndola a un conjunto limitado de elementos que permite representar la oferta del sistema de transporte.

8.2.1. Red vial

Para la materialización de la red vial del corredor se utilizó como base la red proveniente de la plataforma OpenStreetMaps, la cual posee datos geospaciales abiertos (de dominio público) que brinda un buen punto de partida cuando no se dispone de una red vial base de modelización.

Una de las características principales de estas redes es que presenta una base de datos detallada con atributos asociadas a la cantidad de carriles efectivos, velocidades de flujo libre, tipología funcional y jerarquías de cada una de las vías, que permite representar las características de operación de los ejes viales de un área urbana.

Para realizar la modelización de un sistema de transporte es necesario definir previamente una “Red Activa”. Esta red se conforma por una simplificación de la red asegurando una capilaridad adecuada para la modelización del sistema a fin de permitir que las etapas de caminata hacia las paradas de transporte puedan realizarse. Para este estudio se utilizó la red de transporte público por donde circulan las líneas y el resto de la red vial se habilitó para la caminata.



Figura 48. Red Vial. Fuente: Elaboración propia



Para la definición de las velocidades de operación del sistema de transporte público se utilizaron insumos provenientes de procesamientos GPS realizados en el estudio *“Apoyo a la Reestructuración del Sistema de Transporte de Pasajeros del Área Metropolitana de Montevideo: Consultoría para Generación de Información del Mercado de Transporte de Pasajeros Metropolitano”*, desarrollado por el Consorcio IRV-REDES-OPCION entre los años 2023 y 2024. Dicho estudio permitió contar con información empírica sobre el desempeño operativo de los servicios metropolitanos, basada en registros reales de circulación de las unidades a lo largo de su recorrido. A partir de estos datos, se realizó un procesamiento por tramos que permitió asociar los puntos GPS con la red vial base del AMM, obteniendo así velocidades promedio representativas para cada una de las vías utilizadas por las rutas metropolitanas.

Sobre la base de estas velocidades observadas, se construyó un esquema de extrapolación por tipología y jerarquía vial, que permitió extender los valores de velocidad al conjunto de la red de transporte público modelada. De este modo, las velocidades de operación se asignaron considerando la clasificación funcional de los arcos (troncales, colectores y vías locales), garantizando coherencia entre el comportamiento observado y el desempeño esperado en vías de características similares. Este procedimiento permitió disponer de un campo de velocidades completo y consistente para todo el sistema utilizando datos GPS reales, lo que asegura que las velocidades adoptadas constituyen una aproximación robusta y representativa de las condiciones efectivas de operación del transporte público.

8.2.2. Red de transporte

La construcción de la red de transporte público para el modelo requirió un proceso de compatibilización y depuración de la información previamente presentada en el **capítulo 5 – Red de transporte público escenario base**. El objetivo fue identificar las variantes que efectivamente representan la operación del sistema en el corredor y sus áreas de influencia, asegurando que la red modelada refleje de manera realista la oferta de transporte existente en los períodos de mayor demanda.

Como se señaló en el apartado anterior, la primera revisión permitió clasificar los recorridos en dos categorías principales: “usa corredor”, que comprende a las variantes que circulan directamente por el eje Ruta - Cno. Maldonado – Av. 8 de Octubre – Av. 18 de Julio y su extensión hacia Ciudad Vieja; y “corta corredor”, conformada por las variantes que interceptan el eje en algún punto y que actúan como alimentadoras del futuro sistema.

Posteriormente, se realizó una segunda revisión destinada a filtrar aquellas variantes con operación en horas pico (matutina y vespertina), ya que son las que condicionan el dimensionamiento de la infraestructura y determinan los niveles de saturación en las paradas. Este análisis permitió reducir significativamente el conjunto inicial, identificando las líneas y variantes que deben ser consideradas para la modelización.

A partir de estas dos instancias de depuración, se procedió a un trabajo de procesamiento y compatibilización de la base de datos de líneas, sentidos y variantes. Para ello se aplicaron los siguientes criterios metodológicos:

- Identificación de las líneas/sentidos con mayor número de servicios, priorizando aquellas con mayor relevancia operativa en el sistema.
- Selección de las líneas/sentidos maximales, es decir, las variantes de mayor extensión que aseguran la cobertura espacial completa del recorrido.
- Agrupamiento de líneas/sentidos/variantes coincidentes, evitando duplicidades y garantizando una representación simplificada y consistente de la red en el modelo.



Este procedimiento permitió reducir la complejidad inicial del sistema manteniendo su estructura funcional y representando de forma adecuada la interacción entre los servicios que circulan por el corredor y aquellos que lo alimentan. El resultado es una red de transporte optimizada para la simulación, que conserva la capacidad explicativa necesaria para analizar el comportamiento de la demanda y evaluar escenarios de planificación futuros.



Figura . Intensidad de rutas de transporte público en PTV VISUM. Fuente: Elaboración propia

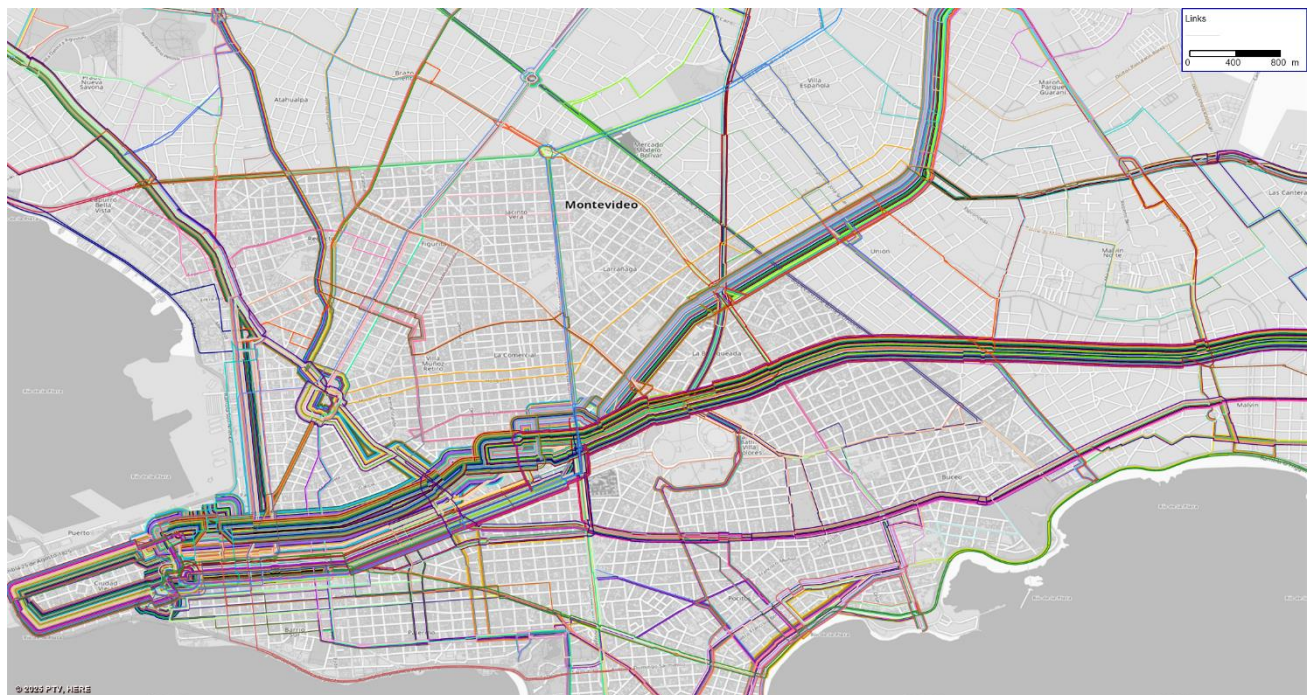


Figura . Intensidad de rutas de transporte público en PTV VISUM - Vista área central. Fuente: Elaboración propia



8.2.3. Generación de paradas

En PTV Visum, la representación de paradas de transporte público se construye a partir de tres elementos jerárquicos que permiten modelar desde una parada simple hasta complejas zonas de intercambio modal, como el Intercambiador Belloni:

- **Parada (stop)**. Definida con sólo un punto en el espacio, que no corresponde a un nodo, ni a un enlace. Solo se utilizan para poder georreferenciar las paradas y posteriormente para poder realizar análisis más agregados por grupos de paradas.
- **Puntos de parada (stop point)**. Ubicados sobre los enlaces o nodos, representan específicamente el punto donde el vehículo se detiene a lo largo del tramo, es posible representar uno por sentido si estos no coinciden exactamente.
- **Áreas de parada (stop areas)**. Permiten agrupar uno, dos o más puntos de parada y se utilizan para definir tiempos de trasbordo (caminata) en la parada, estos son importantes para estimar el costo generalizado de un viaje en transporte público.

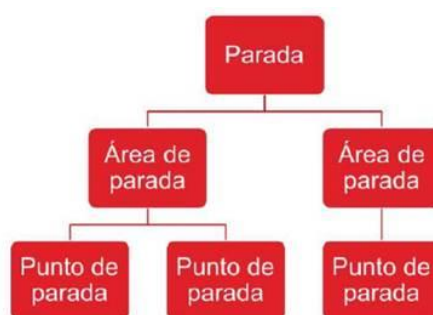


Figura 49. Jerarquía para la representación de paradas de transporte público en PTV VISUM. Fuente: Manual PTV VISUM

En la red del corredor en estudio se implementó una simplificación de las paradas existentes físicamente, ya que una representación exhaustiva de cada punto de detención resultaría impracticable en un modelo de estas dimensiones y que además posee un carácter estratégico. Para lograr un balance entre nivel de detalle y capacidad analítica, se aplicó un procedimiento específico a través del filtrado de los enlaces por los que circulan las rutas de las líneas y variantes seleccionadas, y sobre dichos tramos se generaron paradas en los nodos aproximadamente cada 200 metros como mínimo. Este criterio permitió mantener una adecuada capilaridad en la red y una representación homogénea de la oferta de transporte público, evitando tanto la sobrecarga de puntos como la pérdida de detalle en las zonas de mayor densidad de servicios, y asegurando a la vez la información necesaria para evaluar con precisión la accesibilidad del sistema.

En lo que respecta a la configuración de los componentes asociados a la representación longitudinal de la estructura de transporte público, dentro de PTV VISUM se establece una jerarquía de elementos que deben desarrollarse para dicha representación, esto se muestra en la siguiente imagen.



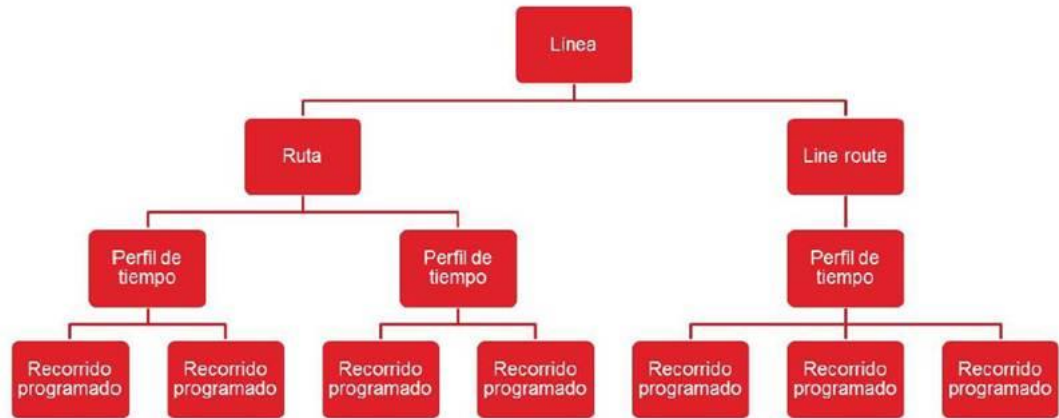


Figura 50. Jerarquía para la representación de redes de transporte público en PTV VISUM. Fuente: Manual PTV VISUM

En síntesis, la metodología aplicada asegura una representación consistente, simplificada y funcional de las paradas, alineada con el carácter estratégico del estudio. Esta aproximación facilita tanto la calibración del modelo como el análisis de escenarios futuros, garantizando que la red construida refleje de manera realista las condiciones de accesibilidad y los posibles niveles de saturación en las paradas del sistema.



Figura 51. Sistema de paradas generadas para las rutas de transporte público en PTV VISUM. Fuente: Elaboración propia



8.3. Zonas de transporte

La representación de la demanda de viajes se realiza por medio de matrices, las cuales contienen alguna medida de intensidad de los desplazamientos entre lo que se definen como zonas de transporte. Estas zonas representan agregaciones espaciales de los múltiples orígenes y destinos individuales de cada desplazamiento realizado en el sistema correspondiente de transporte. En el **capítulo 3** (zonificación) del presente informe se describe la etapa de definición de la zonificación, que además de ser usada como insumo en la generación de las matrices, representa en el modelo el vínculo entre oferta y demanda, es decir, incluir en la red los nodos que dan origen y destino a los desplazamientos. Así, dentro del modelo cada zona de transporte está representada por un “centroide”, que se corresponde al área más densa (en términos de población o localización de actividades) de la zona de transporte. A su vez, éste se vincula a la red vial de modelización a través de “conectores”.

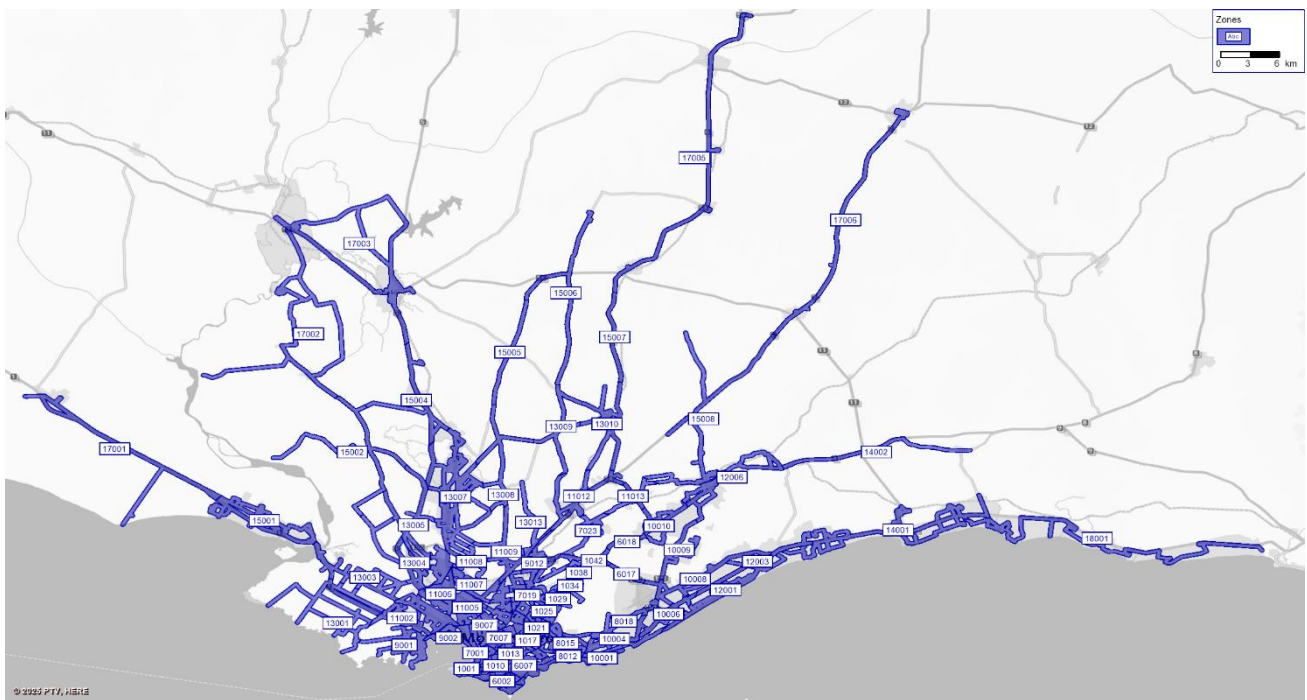


Figura 52. Vista global de zonas en PTV VISUM. Fuente: Elaboración propia.



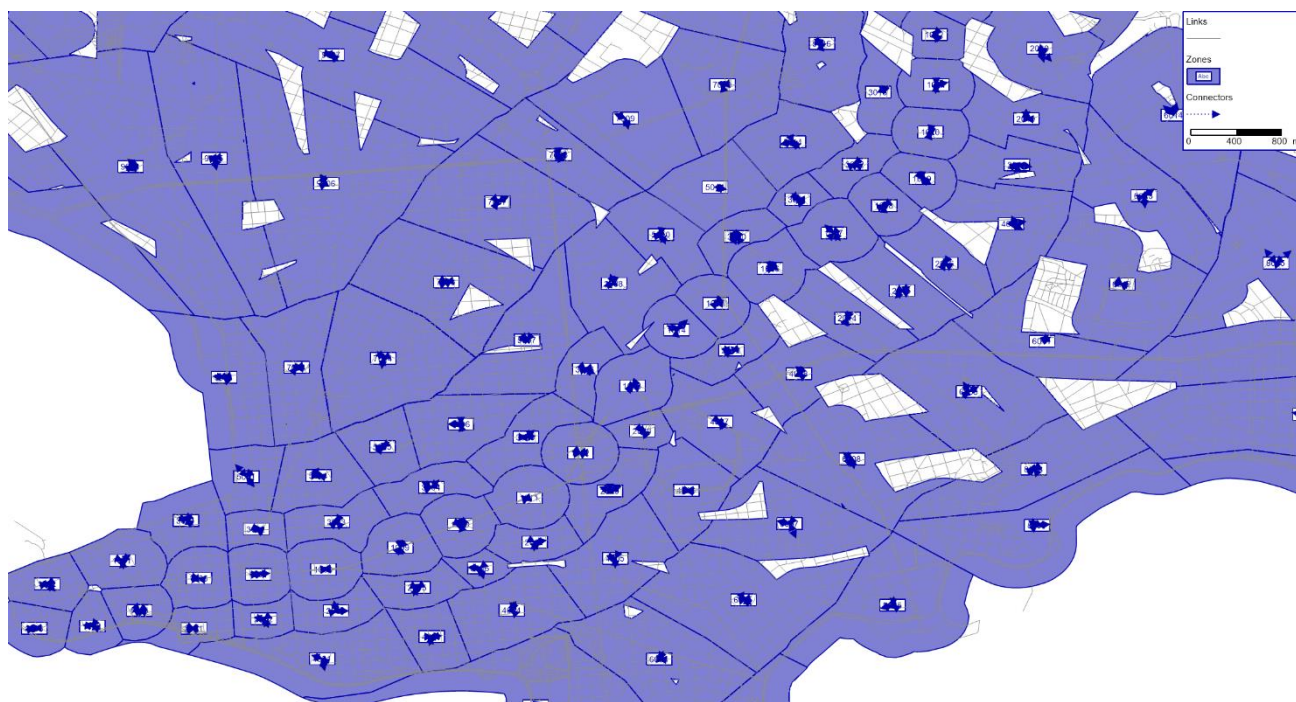


Figura 53. Zonas, centroides y conectores Fuente: Elaboración propia.

8.4. Modelo de asignación

El modelo de asignación permite vincular y simular la demanda de viajes con los itinerarios de la red de transporte público, que constituyen la representación de la oferta en el área de estudio. Estos modelos estiman los flujos en los distintos enlaces de la red a partir de las matrices de viajes para cada par origen–destino (OD) considerado. La asignación de viajes se realiza siguiendo los caminos de menor impedancia o costo generalizado entre zonas, calculado en función de características de la oferta —como tiempos de viaje y capacidad— y del nivel de servicio disponible entre cada par OD, incluyendo aspectos como la existencia de líneas de colectivos, el número de transferencias necesarias y el grado de integración del sistema. Para la asignación de transporte público se utilizan las matrices OD provenientes del procesamiento efectuado y presentado en el capítulo 4 del presente informe, para la hora pico de la mañana (HPM) y de la tarde (HPT).

La asignación de transporte público resulta en una tarea compleja. Básicamente el principal problema que se presenta cuando se trata de calibrar la situación actual, en un modelo como este, es determinar a qué bus ascienden los pasajeros cuando se les ofrece más de una alternativa para un mismo par O/D. La aproximación más simple a este problema es considerar que el usuario asciende al bus que llega primero a la parada. Otros algoritmos de asignación de transporte público asumen una distribución de los viajes entre un par Origen-Destino entre las alternativas de conexión entre las dos zonas en función de los intervalos de paso de cada alternativa. Los principales softwares comerciales, dentro de los cuales se encuentra PTV VISUM, poseen algoritmos de asignación de transporte público robustos que permiten análisis consistentes en función del grado de conocimiento que posee cada usuario del sistema de transporte. Entre estos algoritmos de asignación podemos tener:

- **Asignación basada en el sistema de transporte:** Este método se realiza básicamente sin restricción de capacidad, lo cual quiere decir que no se toman en cuenta las características asociadas a los sistemas estructurados de transporte colectivo, esto se traduce a que durante el procedimiento de ejecución de este algoritmo no se consideren las paradas, líneas y rutas de transporte que puedan existir dentro del área



objeto de análisis. Este método es comúnmente usado en áreas extensas donde se desean detectar el potencial de diversos corredores para convertirlos en ejes troncales de transporte.

- **Asignación basada en intervalos:** Este algoritmo de asignación basado en intervalos considera la estructura funcional del sistema de transporte y se realiza bajo las premisas de que los usuarios conocen todos los servicios en su red (frecuencias y tiempos de viaje), no obstante, los usuarios no conocen el tiempo de salida exacto de cada servicio por lo que el horario de servicio puede ser o no puntual. Además, los usuarios llevan una estrategia concebida antes de iniciar el viaje (no generan ajustes durante el recorrido). En general este tipo de asignación es aceptable cuando los intervalos de servicios son menores a 20 o 30 minutos.
- **Asignación basada en horarios:** La asignación basada en horarios considera que los usuarios conocen todos los servicios en su red y su programación (horarios de salida, tiempos de viaje, horarios de llegada) por lo tanto, los usuarios analizan esta programación y deciden su estrategia antes de iniciar el viaje.

En el marco de este estudio, se adoptó una estrategia combinada de asignación que responde a las características diferenciadas del sistema de transporte en el área de análisis. Para las líneas urbanas, se aplicó el método de asignación basada en intervalos (*headways*), dado que estas rutas operan con altas frecuencias y con intervalos de paso generalmente cercanos o inferiores a 30 minutos, lo que hace que el usuario perciba el servicio de manera más cercana a un esquema de oferta continua. Por su parte, las líneas metropolitanas fueron modeladas mediante el método de asignación basada en horarios (*time table*), ya que presentan intervalos de servicio más amplios y los usuarios suelen planificar sus desplazamientos en función de la programación horaria de salida y llegada. Esta diferenciación metodológica permite representar de manera más realista el comportamiento de los pasajeros frente a la oferta de transporte, al capturar tanto la flexibilidad del uso de las rutas urbanas como la mayor dependencia de horarios característica de los viajes de media distancia.

En términos de elección de rutas, el modelo de asignación de transporte público desarrollado asume que los pasajeros optan por la alternativa que minimiza el costo generalizado (GC). Dicho costo incorpora de forma integrada los componentes del tiempo percibido de viaje, las penalizaciones derivadas de la saturación del sistema representando el esfuerzo total percibido por el usuario al realizar un viaje en transporte público.

En el modelo de asignación implementado en PTV Visum, el GC se calcula mediante distintos parámetros que llegan a componer el tiempo percibido (PJT o *Perceived Journey Time*), estos parámetros son:

- IVT: tiempo a bordo del vehículo
- ACCESS: tiempo de acceso al vehículo
- EGRESS: tiempo de egreso del vehículo
- WALK: tiempo de caminata
- WAIT0: tiempo de espera en origen
- WAITtr: tiempo de espera en las transferencias
- Ntr: número de transferencias

Al no existir un estudio de preferencia declarada ad hoc para la estimación de las funciones de preferencia con los respectivos coeficientes asociados a cada variable, para el presente estudio se adoptaron parámetros con base en los rangos típicos para áreas de estudio comparables basado en la literatura técnica del tema y en la revisión bibliográfica de diferentes estudios regionales, que permiten arribar a coeficientes medios a nivel regional.



En función de los análisis realizados se pudieron determinar factores para los coeficientes de tiempo de espera en origen, tiempo de caminata y tiempo por cantidad de transferencias. En la siguiente tabla se resumen los coeficientes utilizados. Por lo tanto, la función de coste generalizado se puede resumir de la siguiente manera:

$$PJT = IVT + ACCESS + EGRESS + 2 * WALK + 1.5 * WAIT_0 + WAIT_{tr} + 5 * N_{tr}$$

8.4.1. Calibración y Validación del Modelo

La calibración y validación constituyen etapas fundamentales en la construcción de un modelo de transporte, ya que permiten verificar que los resultados generados representen de manera confiable el comportamiento real del sistema. En este estudio, el proceso se centró en asegurar que los flujos de pasajeros estimados por el modelo de asignación reproduzcan adecuadamente las condiciones observadas en campo a lo largo del corredor analizado.

Para evaluar el ajuste del modelo se emplearon dos indicadores de uso extendido en la práctica internacional, el estadístico GEH y el coeficiente de determinación (R^2).

El estadístico GEH, recomendado por la Federal Highway Administration (FHWA) en el Traffic Analysis Toolbox, Volume III (2004), es una medida que combina características absolutas y relativas para evaluar la diferencia entre los flujos observados en campo (C) y los flujos modelados (M). Se define según la siguiente expresión:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Donde “M” corresponde al flujo estimado por el modelo y “C” al flujo observado. En la práctica, valores de GEH menores a 5 son considerados como un buen ajuste, mientras que valores entre 5 y 10 son aceptables en contextos estratégicos.

Por su parte, el coeficiente de determinación (R^2) mide el grado de correlación entre dos series de datos, en este caso, entre los flujos de pasajeros observados y los generados por el modelo. Su valor oscila entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican que la mayor parte de la variabilidad de los datos observados es explicada por el modelo. En términos prácticos, un R^2 alto refleja que los resultados modelados se ajustan de forma consistente a los datos empíricos.

La cuantificación de flujos de pasajeros se obtuvo usando los resultados del relevamiento de Factor de Ocupación Visual (FOV) suministrado por el Contratante y los datos extraídos del procesamiento cargas de variantes que se realizó con la información de las transacciones.

El estudio de Factor de Ocupación Visual permite determinar la carga de pasajeros y de ómnibus en un punto determinado de la red dentro de un periodo de tiempo definido. Básicamente consiste en: a) determinar el tiempo transcurrido entre el paso de dos unidades consecutivas de una misma línea, para las diferentes líneas que utilizan el Corredor en análisis y b) contar o estimar el número de pasajeros que hacen uso del servicio en el tramo en el cual se ubica el punto de aforo.

El estudio fue realizado en 9 puntos clave del Corredor, obteniendo la cantidad de pasajeros y servicios para cada línea que pasa por la sección en estudio en el sentido pico (entrante a Montevideo por la mañana y saliente de Montevideo por la tarde). A continuación, se detallan las secciones estudiadas:



- Punto 1. Los Aromos. Ruta 8 entre Paso Hondo y Boyero.
- Punto 2. Intercambiador Belloni. 8 de Octubre y Villademoros.
- Punto 3. Pan de Azúcar. 8 de Octubre entre Larravide y Miro.
- Punto 4. Centenario. 8 de Octubre entre Abreu y Lah.
- Punto 5. Garibaldi. 8 de Octubre entre Berro y Garibaldi.
- Punto 6. Tres Cruces. Entre Goes y Acevedo Díaz.
- Punto 7. Beisso. 18 de Julio entre Requena y Martin C. Martínez.
- Punto 8. Intendencia. 18 de Julio entre Barrios Amorín y Vázquez.
- Punto 9. Convención. 18 de Julio entre Convención y Andes.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación espacial de cada uno de estos puntos.

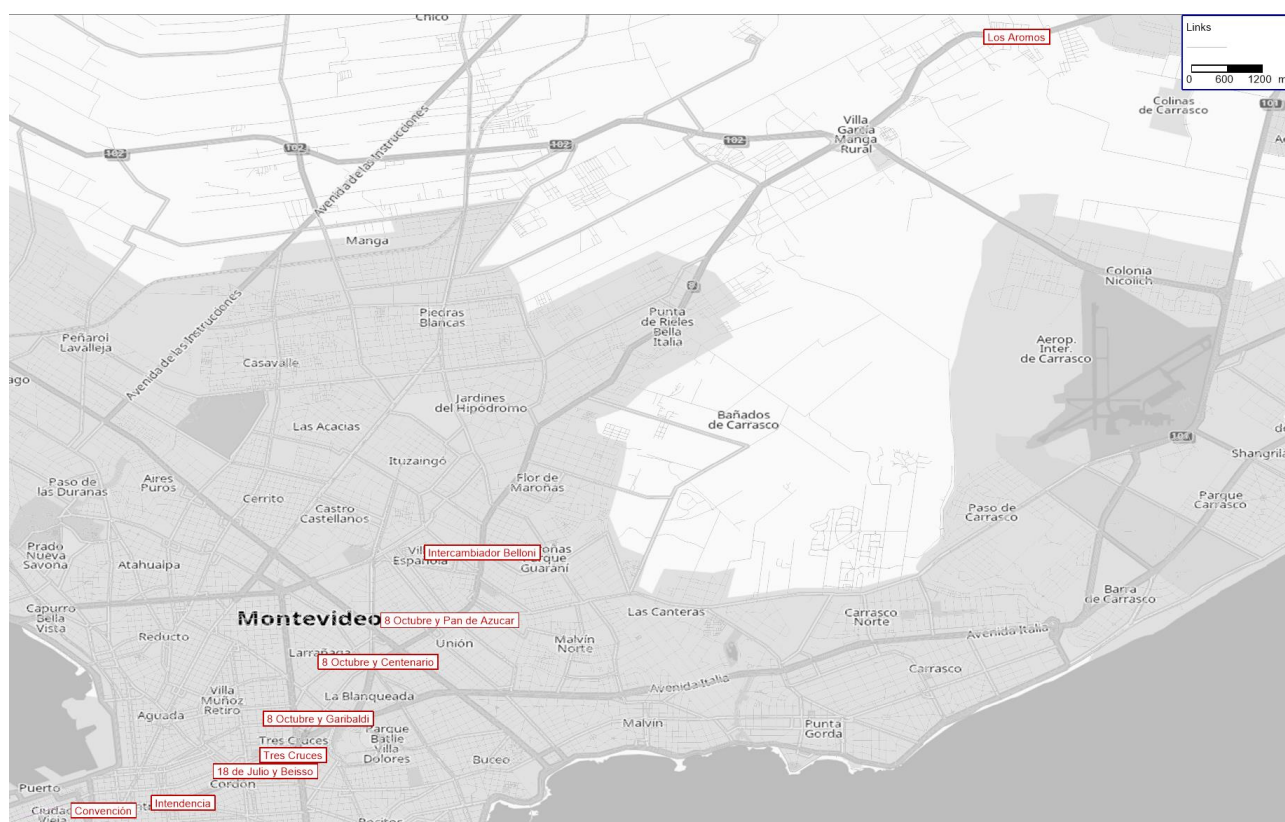


Figura 54. Ubicación de puestos de FOV Fuente: Elaboración propia con base en datos recibidos.

Con esta información y la utilización del algoritmo TFlowFuzzy existente en PTV VISUM fue posible contrastar y ajustar directamente los volúmenes de pasajeros observados en campo con los flujos estimados por el modelo en cada puesto y sentido de circulación, aplicando tanto el cálculo de GEH como el análisis de correlación estadística (R^2). En la siguiente imagen se muestra una representación conceptual del proceso por el cual el algoritmo realiza la estimación matricial.



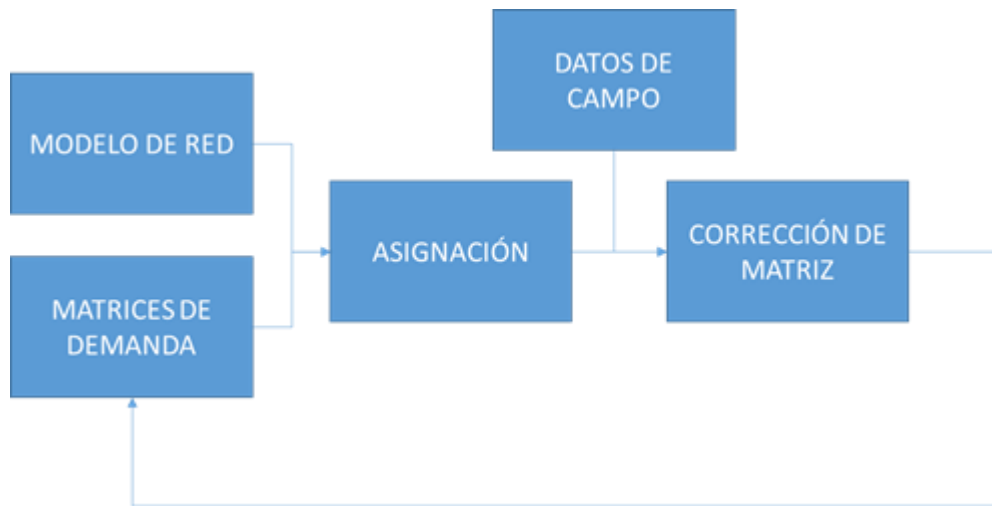


Figura 55. Algoritmo TFF Fuente: Elaboración propia.

En concordancia con esto, los resultados de GEH muestran un ajuste altamente satisfactorio entre los flujos observados y los estimados por el modelo. Para la hora pico de la mañana (HPM), se obtuvo un GEH promedio de 3,7, lo cual se resume como un buen nivel de ajuste. Por su parte, en la hora pico de la tarde (HPT) los resultados de GEH promedio resultan en 1,6, lo que indica un buen nivel ajuste. Estos resultados sugieren que el modelo es especialmente robusto para representar las dinámicas de movilidad de la red estudiada.

En lo que respecta a resultados de R^2 siguientes figuras se presentan los gráficos de dispersión y sus respectivos valores de R^2 para cada periodo modelado, mostrando el grado de ajuste alcanzado entre los datos observados y los resultados del modelo.

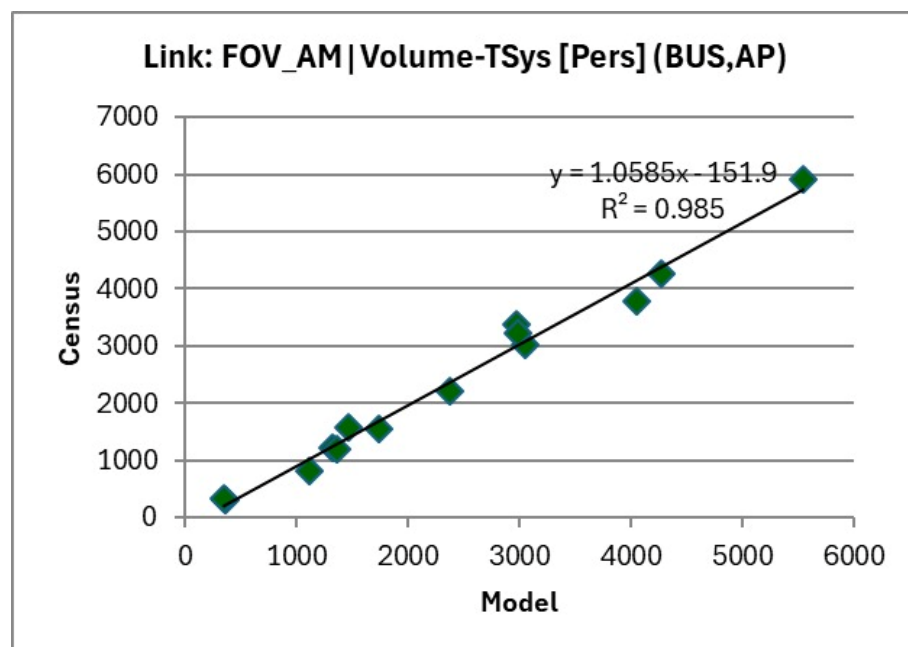


Figura 56. Gráfico R2 FOV para pico AM : Elaboración propia.



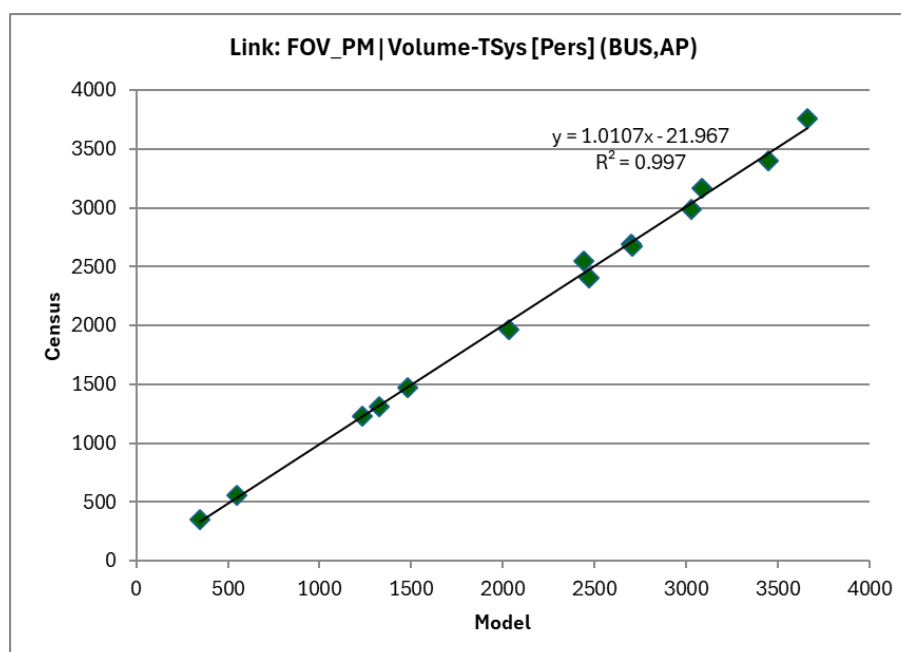


Figura 57. Gráfico R2 FOV para pico PM: Elaboración propia.

Como se pudo observar, para los coeficientes de correlación de R^2 se obtuvieron valores 0,99 para ambos picos (HPM y HPT). Estos resultados indican un alto grado de correlación entre los volúmenes de pasajeros observados en campo y los generados por el modelo, a continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos por periodo de modelación.

Hora Pico Mañana:

GEH promedio = 3,7.

$R^2 = 0,985$.

Hora Pico Tarde:

GEH promedio = 1,6.

$R^2 = 0,997$.

Como resumen, los resultados obtenidos muestran un desempeño altamente satisfactorio del modelo, validando de esta forma su uso para la representación de dinámicas de movilidad en el área de estudio

8.4.2. Principales Resultados

Calibrados y validados los modelos se continua con la extracción de resultados, los cuales permiten visualizar las dinámicas de viajes actuales.

A. Periodo Pico Mañana (HPM)

La salida gráfica más habitual de un modelo de estas características suele ser el volumen de pasajeros horarios de transporte público representada sobre la red vial asignada. Estos volúmenes permiten observar las dinámicas horarias de viaje existentes en cada periodo de modelación y son fundamentales para entender la utilización de la oferta de servicios en el área de estudio. A continuación, se presentan imágenes con las salidas graficas de asignación de pasajeros para el pico HPM.





Figura 58. Asignación de pasajeros de transporte público pico HPM: Elaboración propia.



Figura 59. Asignación de pasajeros de transporte público pico HPM– Zoom Centro: Elaboración propia.



En el ámbito del Área Metropolitana, las conexiones durante el periodo pico de la mañana muestran una marcada concentración de pasajeros en los corredores radiales que vinculan la periferia con el área central. Los ejes conformados por Avenida Italia, 8 de Octubre, General Flores y Agraciada-Colón presentan los mayores volúmenes de pasajeros, consolidándose como los troncales más significativos en el acceso a la ciudad. El flujo se dirige principalmente hacia el centro de Montevideo y la Ciudad Vieja, reafirmando el carácter radial del sistema en la hora punta matutina.

Complementando la asignación de pasajeros a la red, en las siguientes figuras se presentan las asignaciones acompañadas de las intensidades de ascensos y descensos de pasajeros en paradas de transporte público:

Las paradas de transporte público se representan mediante diagramas circulares proporcionales, evidenciando:

- En color rojo los pasajeros que abordan en cada punto.
- En color amarillo los pasajeros que descienden en cada punto.
- El tamaño total del círculo está asociado al volumen de usuarios que interactúan con la parada (abordajes + descensos), lo que permite dimensionar el peso relativo de cada nodo dentro de la red.

Este esquema facilita la interpretación de la dinámica espacial de la demanda, mostrando no solo la intensidad de los flujos sobre la infraestructura, sino también el comportamiento de intercambio de pasajeros en las paradas estratégicas.

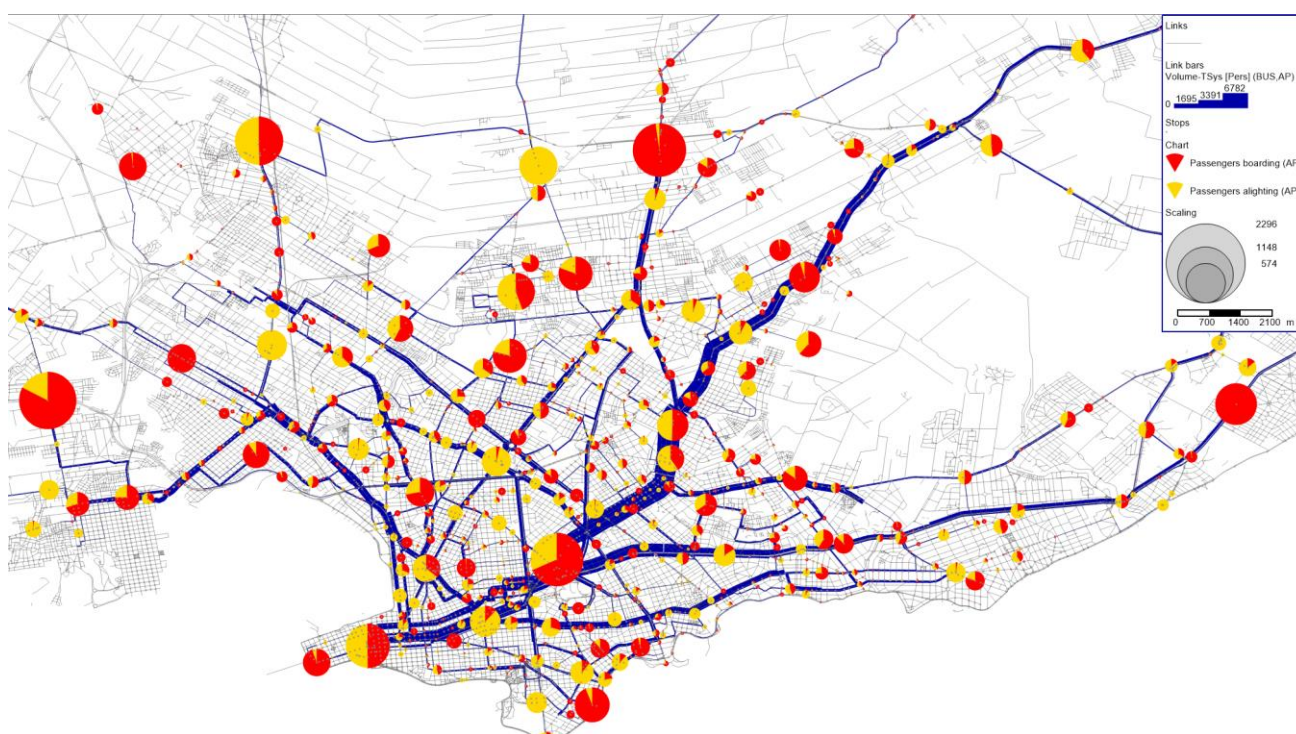


Figura 60. Intensidad de ascenso/descenso de pasajeros de transporte público HPM. Elaboración propia.



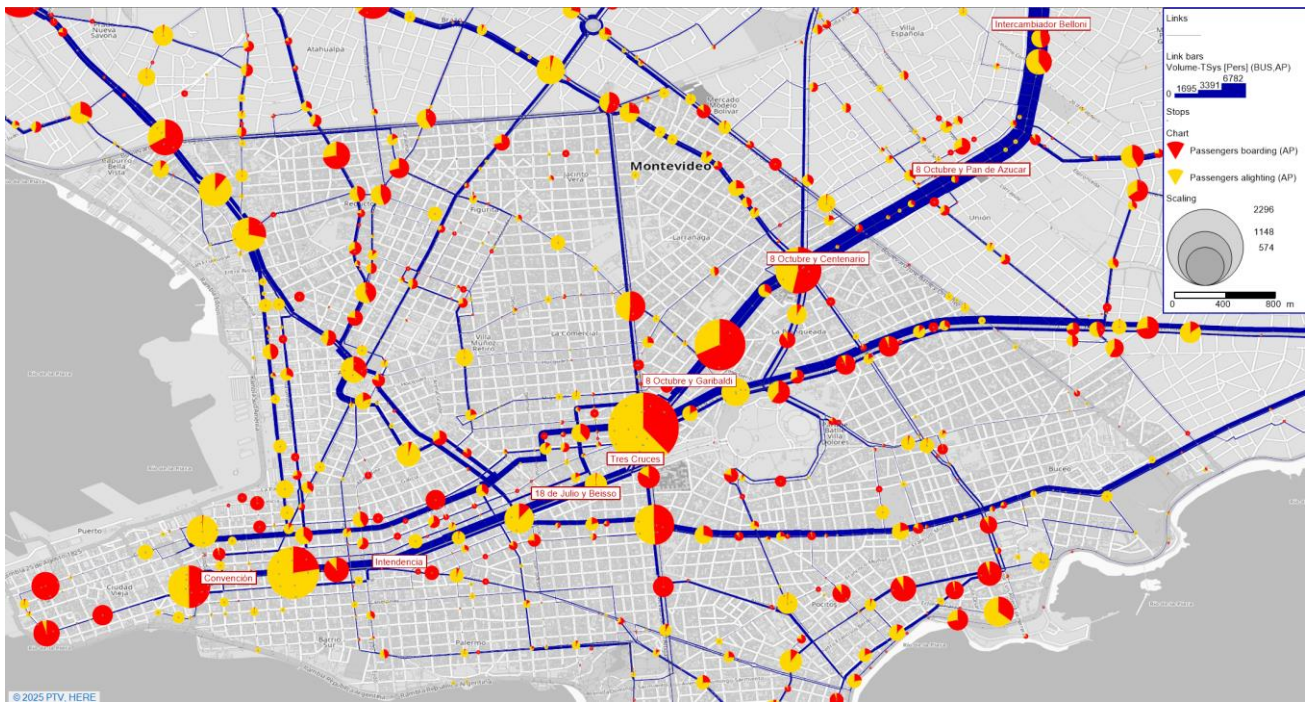


Figura 61. Intensidad de ascenso/descenso de pasajeros de transporte público pico AM – vista Zoom: Elaboración propia

La representación de paradas complementa la lectura de la red, mostrando que en el periodo HPM predomina el ascenso de pasajeros en las áreas periféricas, evidenciado por círculos rojos de mayor tamaño, lo que refleja el rol de estas zonas como principales orígenes de los viajes hacia el centro. En contraste, en la Ciudad Vieja y el área central se registran descensos más numerosos, representados por la preeminencia del color amarillo, lo que confirma su centralidad laboral y educativa en esta franja horaria. Asimismo, algunos nodos intermedios a lo largo de los corredores presentan proporciones equilibradas de ascensos y descensos, lo que sugiere la existencia de subcentros o áreas de actividad secundaria.

Para analizar más en detalle la operación del corredor se utilizan gráficos de asignación e intensidades de ascensos y descensos de pasajeros en paradas que posibilitan evaluar las ocupaciones de los tramos a lo largo del trayecto por el cual circulan.





Figura 62. Asignación e intensidades de ascensos/descensos de pasajeros de transporte público en los corredores 18 de Julio y Av. 8 de Octubre en HPM – vistas Zoom: Elaboración propia

En el tramo de 18 de Julio (primera imagen superior del conjunto), los volúmenes asignados resultan elevados y crecen progresivamente según la dirección de circulación. En el centro histórico, con paradas como Convención o Intendencia, predomina una fuerte presencia de descensos, lo que confirma el peso de esta zona como principal destino en el inicio de la jornada. Al avanzar hacia Tres Cruces, la intensidad de los flujos aumenta de manera notable, consolidando a esta terminal como el nodo de convergencia más relevante del corredor, donde confluyen pasajeros provenientes de múltiples orígenes y se redistribuyen hacia diversas líneas de la red.

Desde Tres Cruces hacia el noreste, la Avenida 8 de Octubre se mantiene como un troncal de gran carga, con puntos críticos en Garibaldi, Centenario y Pan de Azúcar. En estas paradas comienza a observarse un cambio en el patrón de uso, los abordajes adquieren mayor protagonismo, alimentando la movilidad hacia el centro. En este tramo, el Intercambiador Belloni se consolida como un punto clave de transferencia, articulando viajes originados en barrios periféricos y conectando con recorridos que amplían la cobertura del sistema.

Más allá de Belloni, en el tramo suburbano de la Ruta 8 – Cno. Maldonado, los volúmenes disminuyen en comparación con el área central, aunque se mantienen significativos en nodos puntuales. Localidades como Punta de Rieles registran un claro predominio de ascensos, lo que refleja su rol como generadoras de viajes hacia el área central. Finalmente, el eje culmina en Zonamérica, donde también se observa una actividad relevante, asociada a la concentración de empleos y servicios en este parque empresarial. Esto otorga al corredor un carácter



bidireccional: mientras gran parte de los flujos se orientan hacia el centro en la mañana, Zonamérica comienza a consolidarse como un polo de atracción específico dentro del esquema metropolitano

B. Periodo Pico Tarde (HPT)

En el escenario vespertino, los volúmenes se mantienen semejantes al periodo matutino pero la dirección de los flujos se invierte. Los mismos corredores radiales que en la mañana concentran la demanda hacia el centro, en este periodo canalizan el retorno hacia los barrios periféricos y suburbanos. Los mayores volúmenes se registran nuevamente en los ejes troncales, lo que confirma que la red conserva su carácter estructurante en ambos momentos del día, con la diferencia esencial en el sentido predominante de circulación.



Figura 63. Asignación de pasajeros de transporte público HPT: Elaboración propia.





Figura 64. Asignación de pasajeros de transporte público HPT– Zoom Centro: Elaboración propia.

Complementando la asignación de pasajeros a la red, en las siguientes figuras se presentan las asignaciones acompañadas de las intensidades de ascensos y descensos de pasajeros en paradas de transporte público para el periodo vespertino.





Figura 65. Intensidad de ascenso/descenso de pasajeros de transporte público HPT: Elaboración propia.

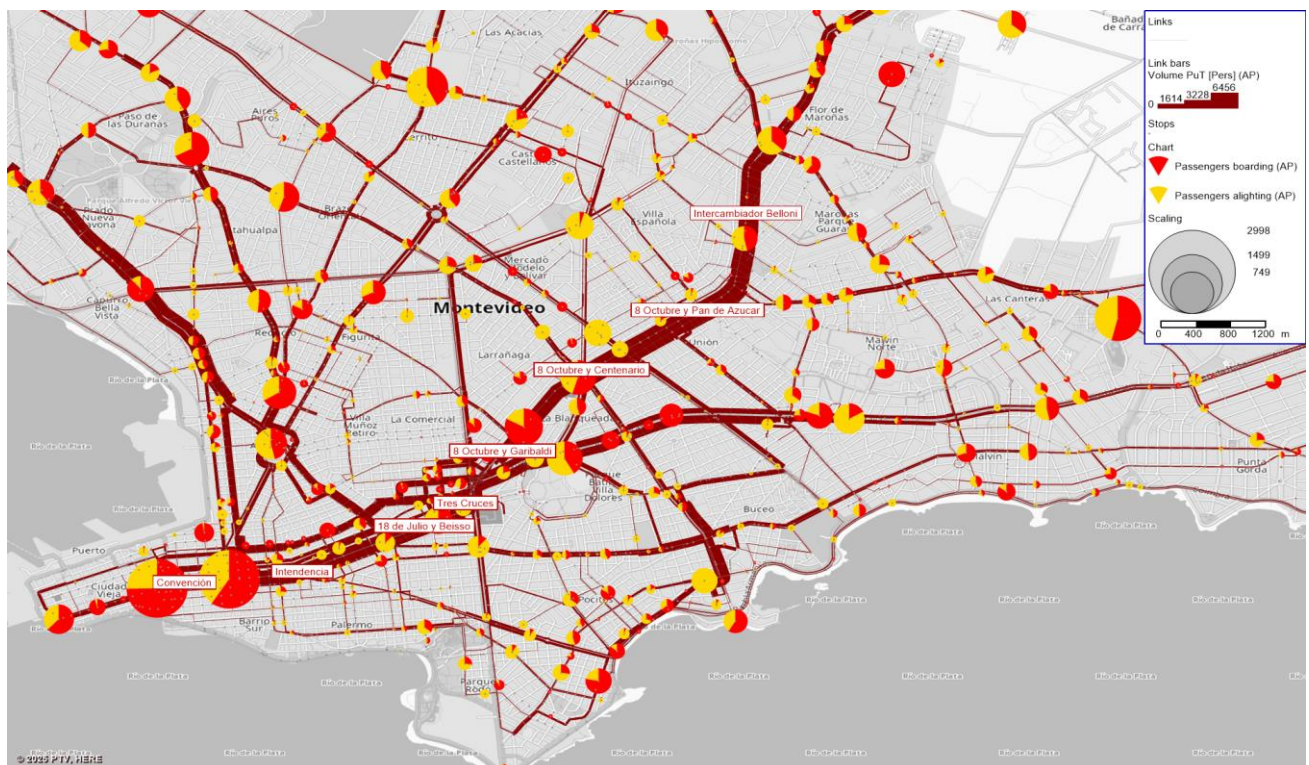


Figura 66. Intensidad de ascenso/descenso de pasajeros de transporte público HPT – vista Zoom: Elaboración propia



En contraste con el periodo HPM, durante el pico HPT el patrón de movilidad se invierte. El centro de Montevideo se configura como el principal nodo de ascensos, con círculos dominados por el color rojo —particularmente en puntos estratégicos como Convención y Tres Cruces—, mientras que en la periferia predomina la proporción de descensos, representados en amarillo. Este comportamiento refleja la lógica de dispersión propia de la tarde, en la que la red canaliza el retorno de los usuarios hacia los distintos sectores residenciales. A su vez, algunos nodos intermedios presentan proporciones equilibradas de ascensos y descensos, lo que evidencia la presencia de subcentros urbanos y polos de actividad secundarios que intervienen en la redistribución de la demanda.

Para analizar más en detalle la operación del corredor, a continuación se presentan gráficos de asignación e intensidades de ascensos y descensos de pasajeros en paradas que posibilitan evaluar las ocupaciones de los tramos a lo largo del trayecto por el cual circulan.

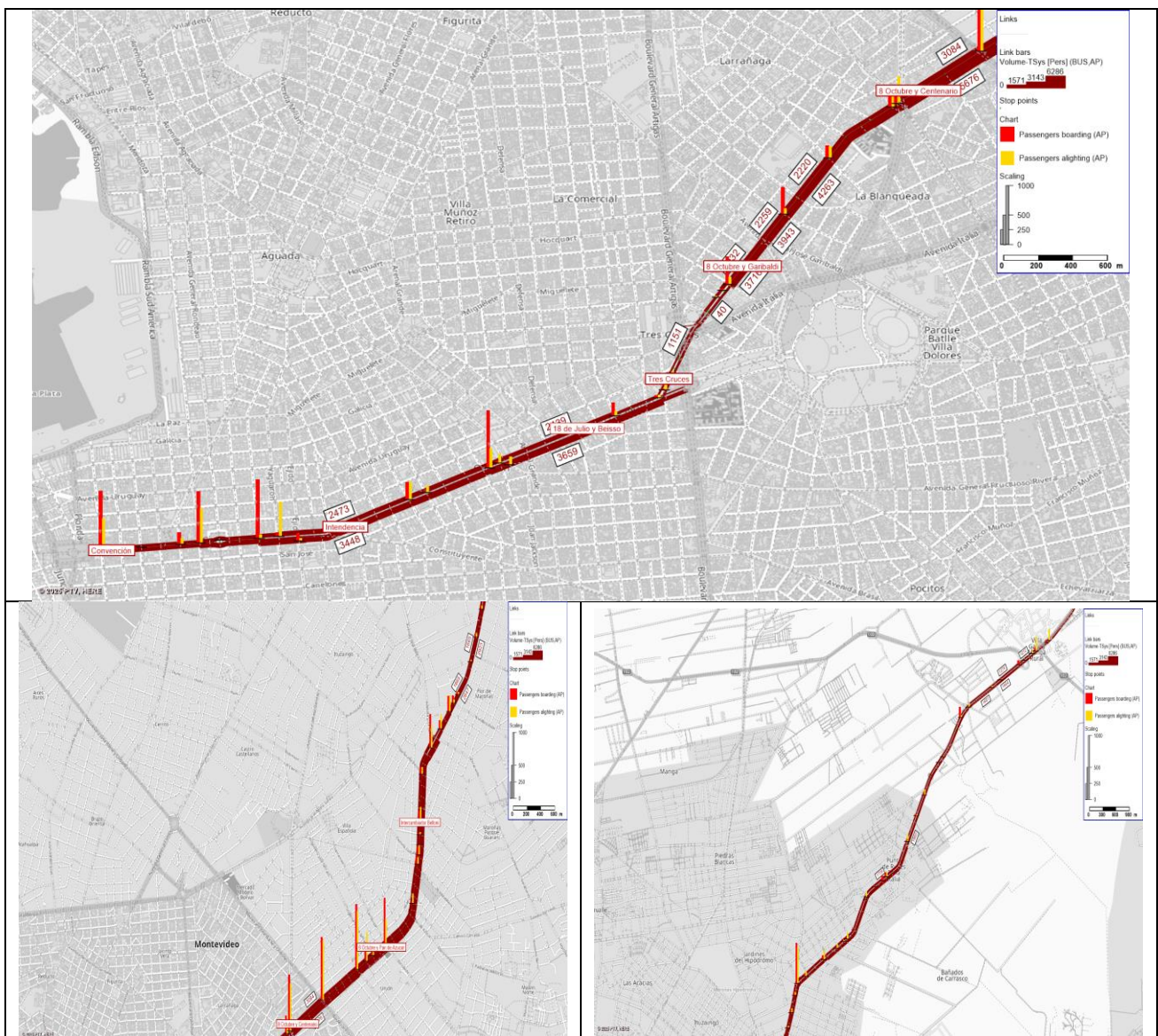


Figura 67. Asignación e intensidades de ascensos/descensos de pasajeros de transporte público en los corredores 18 de Julio y Av. 8 de Octubre en el pico HPT – vistas Zoom: Elaboración propia



Durante la hora pico vespertina, el eje se configura como el principal canal de retorno de pasajeros, alcanzando una magnitud de demanda incluso superior a la registrada en la mañana. La estructura de los flujos mantiene la misma lógica radial observada en el periodo HPM, aunque en sentido inverso, los viajes parten masivamente desde el área central y se redistribuyen a lo largo de los corredores hacia los barrios periféricos y suburbanos.

En el tramo de 18 de Julio, las paradas céntricas como Convención e Intendencia concentran un volumen relevante de ascensos, lo que confirma el rol del centro como gran origen de viajes en este horario. Hacia Tres Cruces, la intensidad de los flujos se incrementa, consolidando nuevamente a la terminal como nodo articulador, esta vez con predominio de abordajes que canalizan la dispersión hacia las diferentes líneas de salida.

El corredor de 8 de Octubre invierte en este periodo su función respecto a la mañana, las paradas en Garibaldi, Centenario y Pan de Azúcar, junto con el Intercambiador Belloni, registran altos volúmenes de descensos. La secuencia evidencia una descarga progresiva de pasajeros, en la que los flujos generados en el centro se disipan en nodos intermedios de importancia. En este marco, Belloni refuerza su papel como punto estratégico de redistribución, articulando la transferencia hacia líneas locales y hacia la periferia noreste.

En la sección suburbana, a lo largo de la Ruta 8 – Cno. Maldonado, se prolonga la lógica de dispersión. Las mismas localidades que en la mañana actuaban como polos de generación se convierten ahora en receptores destacados de descensos, consolidándose como destinos residenciales de peso dentro del patrón metropolitano. En Zonamérica también se observa una actividad significativa, con descensos predominantes y algunos ascensos que podrían asociarse a viajes tardíos hacia el centro o a trasbordos hacia otros sectores del área metropolitana.

En conjunto, el corredor en el escenario HPT confirma el carácter direccional de la movilidad metropolitana, los tramos centrales actúan como grandes orígenes de viajes, mientras que la periferia y la franja suburbana se consolidan como los principales destinos. La articulación de nodos estratégicos como Tres Cruces, Belloni y Zonamérica asegura la capacidad del sistema para absorber y redistribuir los flujos de dispersión vespertinos, en claro contraste con el patrón de convergencia matinal.

C. Intensidad de ascensos / descensos en nodos principales

Para comparar las intensidades de ascensos y descensos de pasajeros, en la siguiente tabla se muestran los principales nodos del sistema (como grupos de paradas) y las cantidades de ascensos y descensos en pasajeros/hora.



Tabla 19. Metodología de asignación aplicada en el modelo de transporte público

Nodos	HPM– Ascensos	HPM – Descensos	HPT– Ascensos	HPT – Descensos	Observaciones
Convención	580	1202	2248	1125	Centralidad laboral/servicios
Intendencia	580	819	1183	699	Destino administrativo
Tres Cruces / Garibaldi	1116	846	2043	472	Nodo de transferencia y redistribución interna
8 de Octubre y Centenario	1646	1788	2137	1924	Nodo de intercambio
8 de Octubre y Pan de Azúcar	886	1359	1842	1810	Nodo intermedio estratégico
Intercambiador Belloni	1015	256	969	912	Redistribución periférica
Zonamérica	146	509	352	547	Subcentro empresarial

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el comportamiento de los nodos seleccionados, sobre el corredor, refleja con claridad la lógica de la movilidad metropolitana de este sector noreste de Montevideo, donde distintos puntos cumplen roles diferenciados de centralidad, redistribución e intercambio de pasajeros.

En el área central, las paradas de Convención e Intendencia muestran una alta intensidad de intercambios. Convención registra 580 ascensos y 1202 descensos en la mañana, y 2248 ascensos y 1125 descensos en la tarde, lo que confirma su papel como nodo de gran dinamismo en el corazón de la ciudad. Intendencia presenta un comportamiento similar, con 580 ascensos y 819 descensos en HPM y 1183 ascensos y 699 descensos en HPT, consolidándola como punto estratégico vinculado a servicios administrativos y laborales.

El nodo de Tres Cruces / Garibaldi destaca como principal centro de transferencia metropolitano. Sus volúmenes son significativos en ambos sentidos, con 1116 ascensos y 846 descensos en HPM y 2043 ascensos y 472 descensos en HPT. Esto refleja tanto su función como destino de importancia como su rol estructural en la redistribución hacia los distintos corredores radiales.

Más hacia el noreste, los nodos de 8 de Octubre y Centenario y 8 de Octubre y Pan de Azúcar se consolidan como polos de gran actividad. En Centenario se observan 1646 ascensos y 1788 descensos en la mañana, mientras que en la tarde se registran 2137 ascensos y 1924 descensos, lo que evidencia la magnitud de su función como nodo de intercambio intermedio. Pan de Azúcar, por su parte, presenta 886 ascensos y 1359 descensos en el AM y 1842 ascensos y 1810 descensos en el PM, confirmando su importancia como punto de articulación estratégica en el tramo medio del corredor.

El Intercambiador Belloni cumple un papel clave en la redistribución periférica. En la mañana capta 1015 ascensos y 256 descensos, mientras que en la tarde recibe 969 ascensos y 912 descensos, ratificando su carácter de nodo de conexión entre servicios troncales y líneas que penetran hacia la periferia.

Finalmente, en la franja suburbana, Zonamérica introduce un patrón que podría estar más enfocado en la movilidad metropolitana. Con 146 ascensos y 509 descensos en HPM, y 352 ascensos y 547 descensos en HPT refleja tanto su rol como subcentro de empleo —donde confluyen trabajadores desde distintas áreas— como su condición de nodo generador de ciertos viajes específicos.



9. Modelo de Simulación de Escenario con BRT

9.1. Introducción

Calibrados los modelos de situación actual para los picos HPM y HPT, y definida la **red de oferta del escenario con BRT**, tanto en infraestructura como en reorganización de las rutas de transporte público (ver **capítulo 6** del presente informe) y los resultados de **marcha tipo** (ver **capítulo 7** del presente informe), el siguiente paso consistió en desarrollar las modificaciones en la red vial y de transporte tal que permitan reflejar la situación futura y evaluar los resultados iniciales de **incorporar una única línea troncal principal** que recorra de punta a punta el corredor conformado por los ejes Ruta 8, Cno. Maldonado, 8 de Octubre, 18 de Julio y su extensión por Ciudad Vieja (25 de Mayo, Lindolfo Cuesta y Reconquista, utilizando **carriles exclusivos** y permitiendo el acceso de pasajeros en **43 estaciones**.

En la siguiente imagen se presenta la estructuración del corredor.

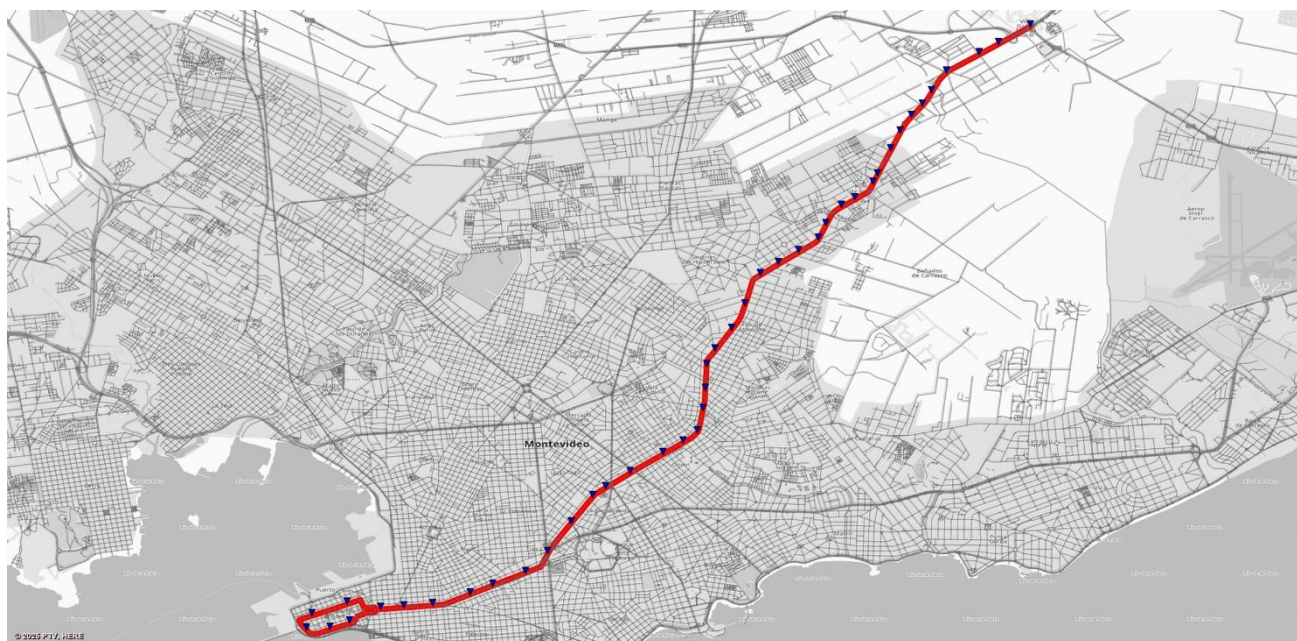


Figura 68. Corredor BRT – Infraestructura y paradas. Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que para considerar las vinculaciones entre líneas en las áreas de parada donde se presentarán nodos de intercambio de importancia, se definieron arcos virtuales que permitan simular el intercambio de pasajeros (ver ejemplo de la estación Tres Cruces en la figura abajo).





Figura 69. Estación Tres Cruces – Representación de conectores y transferencias. Fuente: Elaboración propia

Para la operación de la línea troncal se generó **una ruta por sentido** de punta a punta del corredor:

- **Sentido centro:** Desde la parada Zonamerica hasta Lindolfo Cuesta entre Sarandí y Buenos Aires
- **Sentido saliente o “barrio”:** Desde Lindolfo Cuesta entre Sarandí y Buenos Aires hasta Zonamerica

Para estas rutas, como escenario inicial, se consideraron **30 servicios en la hora pico por sentido** (prediseño estudio de prefactibilidad), y la utilización de unidades biarticuladas con una **capacidad para 220 personas**.

El sistema de rutas actuales se modificó considerando las líneas que **cortarán su recorrido** en cada uno de los nodos de integración y/o **modificarán el trazado**, ya sea circulando por los carriles de tránsito general de la Ruta 8 / Cno. Maldonado entre Zonamerica y Belloni, utilizando el par 8 de Octubre – Rousseau / Joanicó / Urquiza entre Belloni y Tres Cruces, o bien desviando su trayecto actual sobre 18 de Julio hacia otro eje en el área central (ver punto 6.2 del presente informe).

Cabe destacar que las frecuencias de estas líneas no fueron modificadas, manteniéndose las condiciones actuales de operación para ambos periodos de modelización.

A continuación se presenta un ejemplo de la reestructuración de líneas en las inmediaciones del intercambiador Belloni.



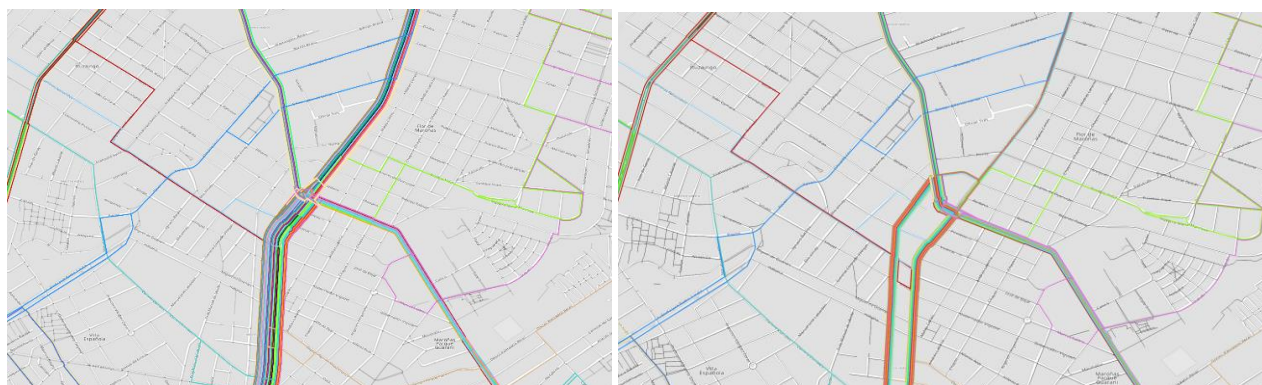


Figura 70. Representación rutas actuales vs futuras – Inmediaciones Int. Belloni. Fuente: Elaboración propia

Respecto a las velocidades de operación de los carriles BRT, se definieron tomando como referencia los resultados de los análisis teóricos de “Marcha Tipo”, desarrollados específicamente para este tipo de sistemas de transporte de alta capacidad. De esta manera, las velocidades adoptadas para los escenarios de BRT reflejan un desempeño acorde al diseño funcional del sistema propuesto, diferenciándose de las condiciones actuales y asegurando consistencia entre la conceptualización operativa del corredor y su representación dentro del modelo de transporte.

A partir de los resultados de la asignación, en el **capítulo 10** se desarrollan **esquemas alternativos de extensión de servicios troncales**, con el objetivo de **optimizar el kilometraje recorrido y la flota necesaria**, ajustando la oferta a las características de la demanda y a los patrones de demanda observados en el Escenario con BRT Modelado.

9.2. Principales Resultados

La asignación de pasajeros en el **Escenario con BRT**, con la implementación de una **única línea troncal principal** que recorre de punta a punta el corredor conformado por los ejes Ruta 8, Camino Maldonado, 8 de Octubre y 18 de Julio, con su extensión por Ciudad Vieja (calles 25 de Mayo, Lindolfo Cuesta y Reconquista), muestra en **ambos periodos de análisis una estructura de red definida y jerarquizada en torno a este eje troncal**, al tiempo que **mantiene una adecuada cobertura territorial** mediante los **servicios alimentadores** y las **rutas transversales** que permanecen en operación.

9.2.1. Periodo Pico Mañana (HPM)

En el **periodo pico de la mañana** la concentración de flujos se dirige mayormente hacia el centro de Montevideo, con mayores volúmenes de pasajeros en el tramo comprendido entre el Intercambiador Belloni y Tres Cruces, en su progresión hacia el centro (18 de Julio y Ciudad Vieja). Este comportamiento es coherente con la orientación del nuevo sistema, que busca canalizar los viajes de ingreso a la ciudad a través de un corredor de alta capacidad.

En las siguientes imágenes se presenta la asignación de pasajeros, donde se puede apreciar los espesores a lo largo del Corredor, indicando un flujo continuo y sostenido, resultado de la integración de las rutas alimentadoras y de la reducción de superposiciones de servicio. En la gráfica de zoom se puede apreciar también la carga complementaria del eje Rousseau- Joanicó – Urquiza, paralelo al Corredor 8 de Octubre, que entre Belloni y Tres Cruces mantendrá la operación de líneas hacia el centro.



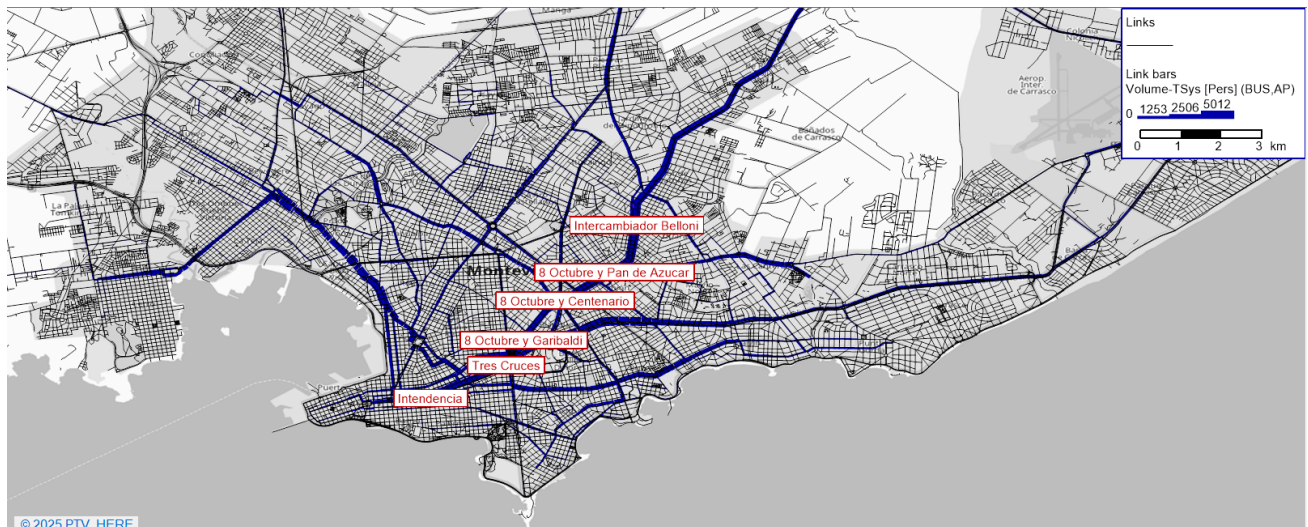


Figura 71. Asignación de transporte en período pico HPM. Fuente: Elaboración propia

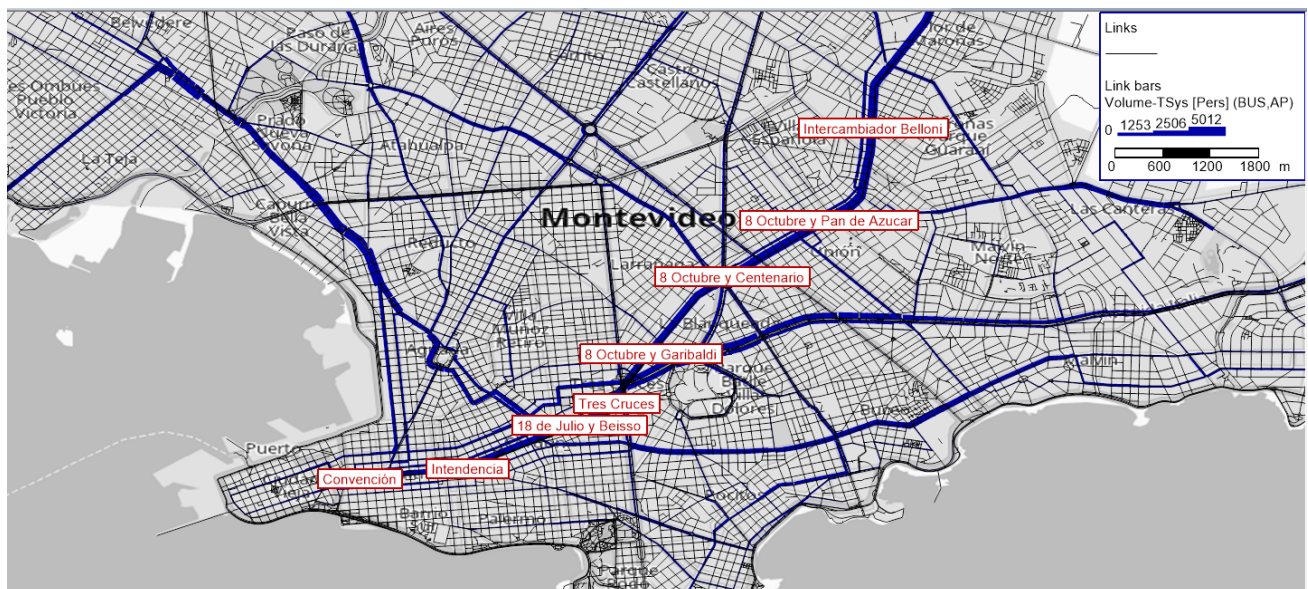


Figura 72. Asignación de transporte en período pico HPM. Zoom Ciudad Viejo – Int. Belloni. Fuente: Elaboración propia

En cuanto al **perfil de carga de la línea troncal BRT para el periodo pico matutino en sentido centro** se evidencia un **comportamiento progresivo y bien estructurado de la demanda**, característico de un corredor metropolitano de alta capacidad. A lo largo del recorrido, se observa una acumulación sostenida de pasajeros desde las zonas suburbanas hacia el área central, con un crecimiento continuo de los volúmenes que **alcanza su punto máximo entre los tramos comprendidos entre el Intercambiador Belloni y Tres Cruces**.

A continuación, se presenta un esquema gráfico del perfil de demanda donde en el eje horizontal se representan las diferentes paradas del sistema y en el eje vertical el volumen de pasajeros/hora; asimismo, las diferentes barras evidencian: la cantidad de pasajeros horarios que ascendieron en la parada (color ROJO), la cantidad de pasajeros horarios que descendieron en la parada (color VERDE) y los pasajeros horarios a bordo de las unidades a la altura de la parada (color CELESTE).



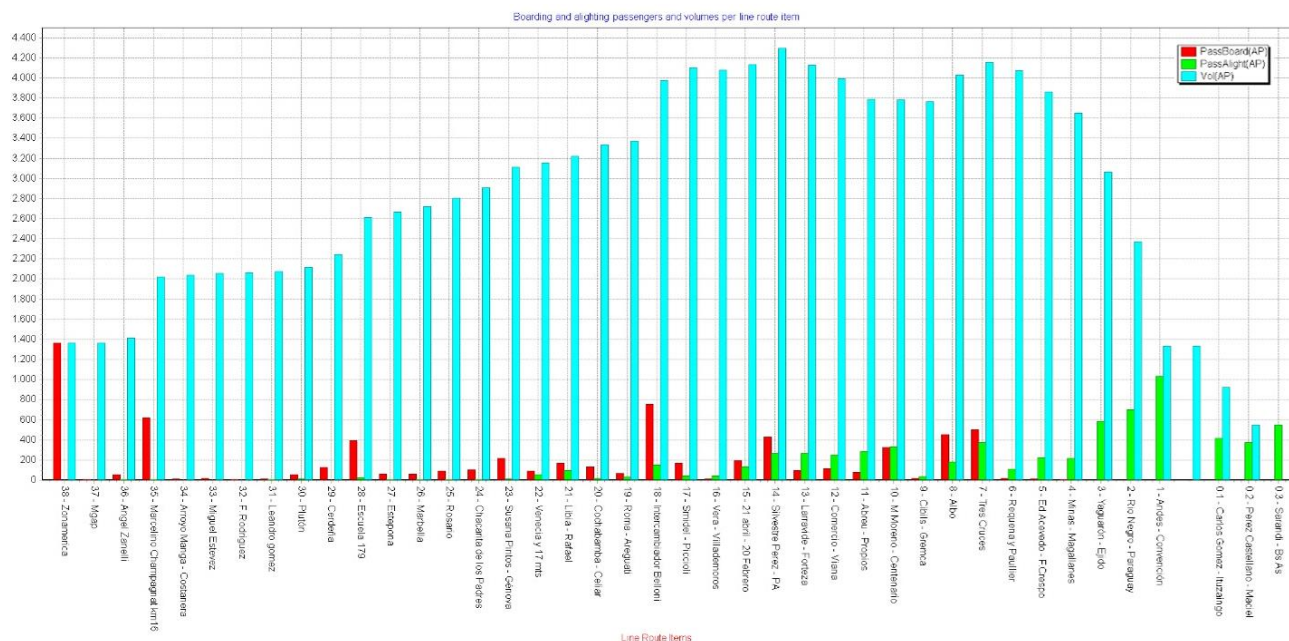


Figura 73. Perfil de carga Zonamerica - Ciudad Vieja en período pico HPM. Fuente: Elaboración propia

Del perfil se desprende que el volumen total de pasajeros transportados aumenta gradualmente desde **Zonamerica**, con valores iniciales en torno a los **1.400 pasajeros/hora-sentido**, indicando una **carga de base significativa en el extremo suburbano**, generada principalmente por el transbordo de las líneas alimentadoras en este nodo.

A medida que el recorrido avanza por el **eje de la Ruta 8 / Cno. Maldonado**, la línea capta flujos adicionales, principalmente en las paradas relacionadas con los **nodos de intercambio km 16, Punta de Rieles y Libia**, donde se registran mayores ascensos que descensos, tornándose estos últimos más evidentes a la altura de Libia.

En el entorno de **Intercambiador Belloni**, se observa una interacción más intensa de la línea, con ascensos (del orden de los 800 pasajeros/hora - sentido) y descensos (del orden de los 200 pasajeros/ hora - sentido) más pronunciados que en el tramo anterior, siendo los ascensos predominantes debido a las dinámicas generadas por las líneas alimentadoras.

En este nodo se destaca una fuerte incorporación de pasajeros en el Intercambiador Belloni provenientes de las líneas alimentadoras, y se presenta una situación particular asociada a la **competencia del eje Rousseau–Joanicó–Urquiza**. Esto se debe principalmente a la diversa configuración de los **itinerarios de pares origen–destino** de la demanda que accede al intercambiador, especialmente desde el norte.

En efecto, una parte de estos viajes tiene **destinos localizados al sur del corredor troncal**, los cuales **no son directamente atendidos por el servicio BRT**. En consecuencia, si dichos pasajeros optaran por utilizar el troncal, se verían obligados a realizar **al menos dos transbordos** dentro del sistema, lo que reduce la competitividad de esta alternativa.

A continuación, se presentan las **intensidades de viaje observadas** en los corredores **Rousseau–Joanicó–Urquiza** (del orden de los 1200 pasajeros / hora - sentido) y en el **troncal** (del orden de 4.000 pasajeros / hora - sentido), con el fin de ilustrar esta distribución de flujos. Las figuras abajo muestran el análisis de Flow Bundle, en el cual se visualiza en azul únicamente los volúmenes de los viajes que pasan por el enlace seleccionado (en color morado).



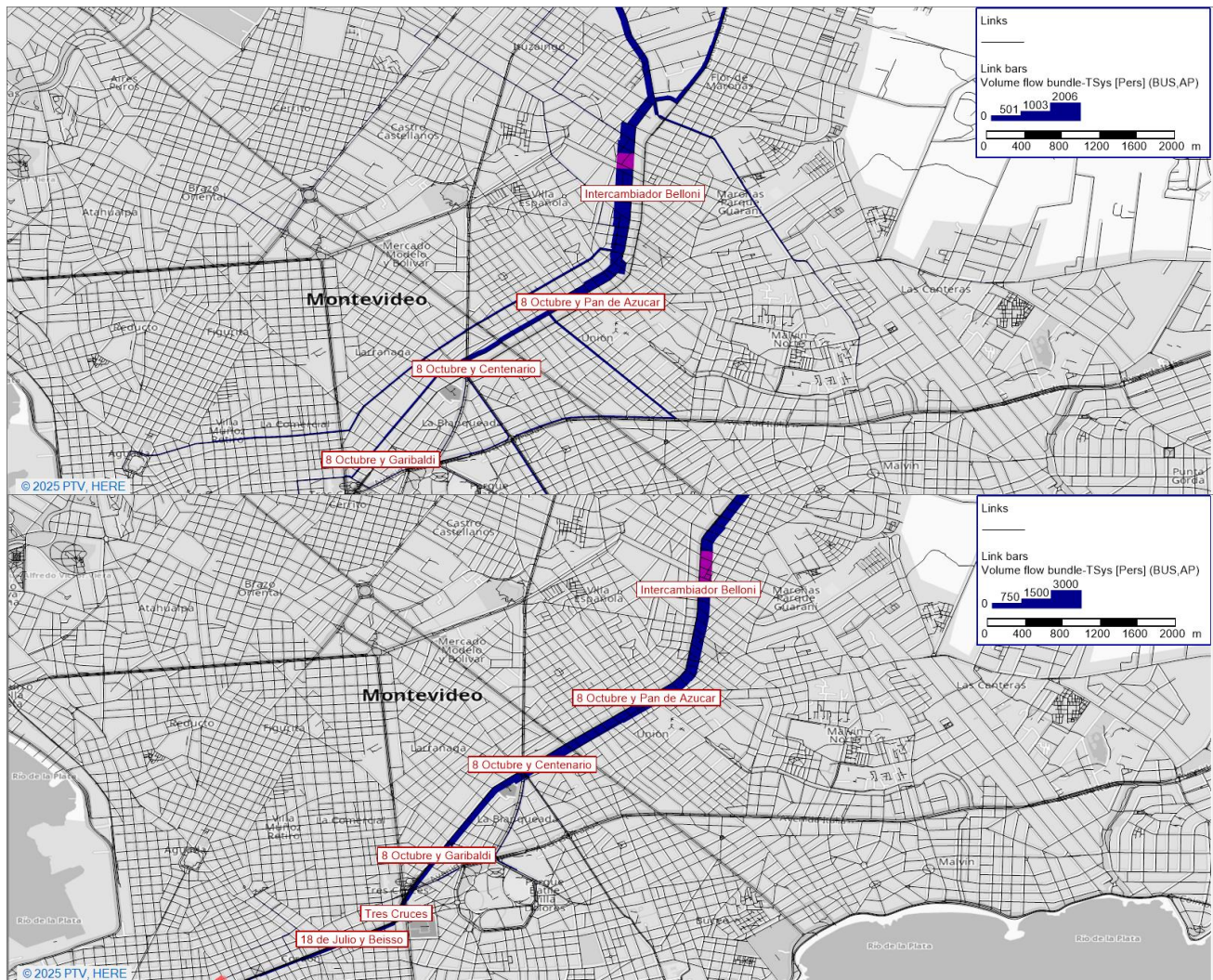


Figura 74. Intensidades de volumen de pasajeros HPM post Int Belloni -- ejes Rousseau- Joanicó – Urquiza y troncal - sentido Centro. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la intensidad de viajes en el eje Rousseau–Joanicó–Urquiza alcanza aproximadamente 1.200 pasajeros/hora-sentido, mientras que el corredor troncal registra del orden de 4.000 pasajeros/hora-sentido. En conjunto, esto representa una demanda total cercana a los 5.200 pasajeros/hora-sentido en este sector, valor que resulta coherente con los niveles observados en la situación actual, previo a la reestructuración de líneas.





Figura 75. Intensidades de volumen HPM entorno Int. Belloni. Fuente: Elaboración propia

Luego de la parada de **Pan de Azúcar** se alcanza la **sección de máxima demanda del servicio troncal**, en el orden de los **4.300 pasajeros/hora-sentido**, constituyendo el núcleo funcional del troncal y el segmento donde deberían concentrarse los **mayores niveles de oferta**, tanto en frecuencia como en capacidad operativa.

En dirección a **Tres Cruces**, los volúmenes de pasajeros se mantienen elevados, presentando **intensidades de ascensos y descensos superiores** a las del tramo sobre Ruta 8 / Cno. Maldonado, destacando la interacción de ascensos y descensos en los nodos de **Batlle y Ordoñez y Centenario**, y un incremento de pasajeros en el entorno de **Tres Cruces**.

A partir de **Tres Cruces**, se registra un **descenso gradual de los volúmenes**, como resultado del **ingreso al centro** y de la **sucesión de paradas** que conforman el **principal destino del sistema**. Estos puntos absorben la mayor parte de los flujos hacia el área central, **confirmando la función estructural del eje** en la **movilización diaria de la población trabajadora y estudiantil**.

El **sentido Ciudad Vieja – Zonamerica** presenta un comportamiento más homogéneo que el sentido hacia el centro, evidenciando un perfil característico de los flujos salientes o de movimientos secundarios que tienen lugar en paralelo al pico principal.



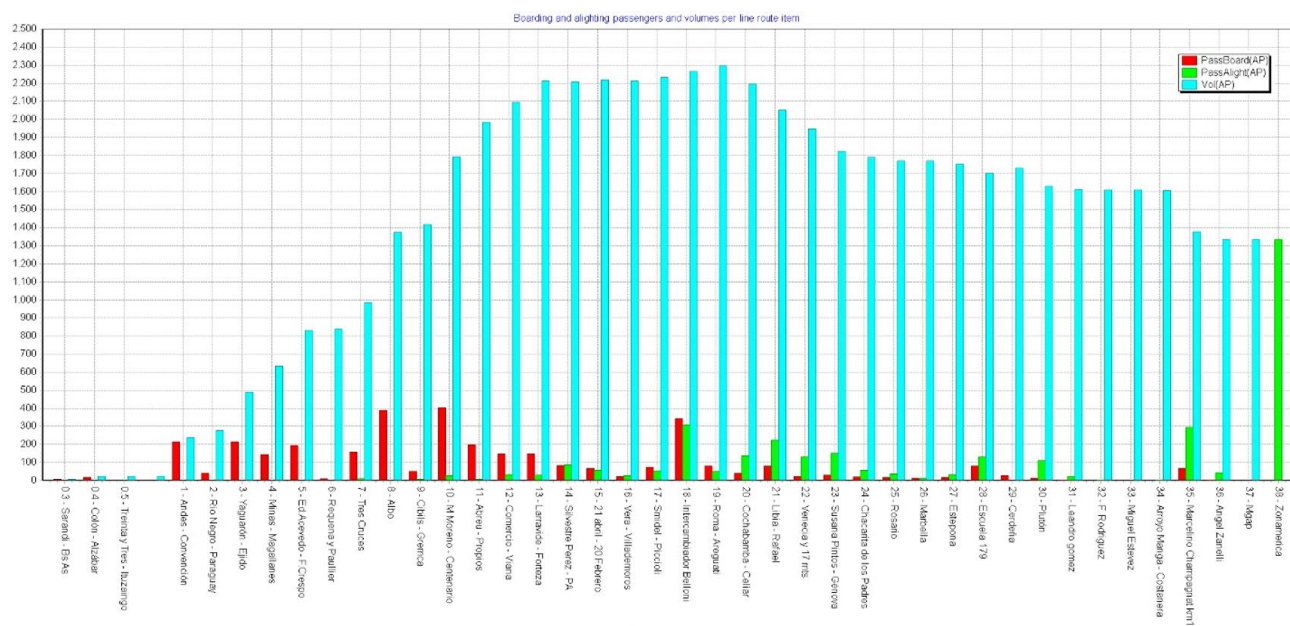


Figura 76. Perfil de carga Ciudad Vieja - Zonamerica en período pico HPM. Fuente: Elaboración propia

En este sentido, los volúmenes iniciales en **Ciudad Vieja** y en el inicio del **área central** sobre **18 de Julio** (Sarandí, Andes–Convención y Río Negro–Paraguay) presentan **mayores ascensos**, aunque con una **magnitud de demanda reducida** en comparación con el sentido hacia el centro. A medida que el recorrido avanza por Cno. Maldonado hacia el este, con la **captación de pasajeros en puntos intermedios** como Tres Cruces, Centenario, Batlle y Ordoñez y el Intercambiador Belloni, se observa una **acumulación progresiva** que alcanza un **máximo** cercano a los **2.500 pasajeros/hora-sentido transportados**.

En el entorno a Belloni, la demanda de las líneas que circulan por los carriles generales de 8 de Octubre alcanzan su máximo entorno a los 900 pasajeros/hora-sentido (ver Figura 75). Lo cual, adicionado al volumen troncal del BRT cercano a 2.200 en ese tramo, refleja aproximadamente 3.100 pasajeros/hora-sentido para la sección completa en sentido saliente.

A partir del **Intercambiador Belloni** y en dirección a **Zonamerica**, el volumen de pasajeros en las unidades **desciende gradualmente**, registrándose **mayores descensos** en paradas como Libia, Punta de Rieles y km 16, hasta llegar a **Zonamerica**, donde la línea finaliza y descarga aproximadamente **1.300 pasajeros/hora-sentido**.

La estabilidad relativa de los volúmenes en los tramos finales sugiere que el corredor mantiene un nivel funcional de utilización en ambos sentidos, aunque con una clara asimetría entre los flujos entrantes y salientes.

En las siguientes imágenes se expone la **cantidad de pasajeros/horarios asignados** a la línea troncal, junto con la cantidad de ascensos (barra color ROJO) y descensos (barra color AMARILLA) en las diferentes paradas que conforman el Corredor



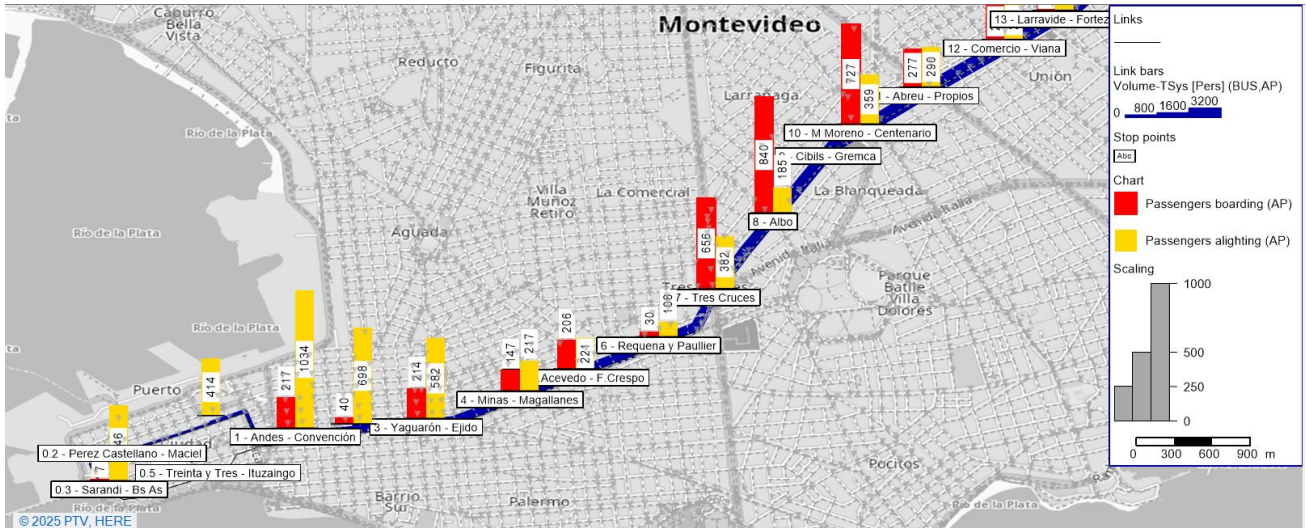


Figura 77. Asignación de transporte en período pico HPM – Tramo Ciudad Vieja – Batlle y Ordoñez. Fuente: Elaboración propia

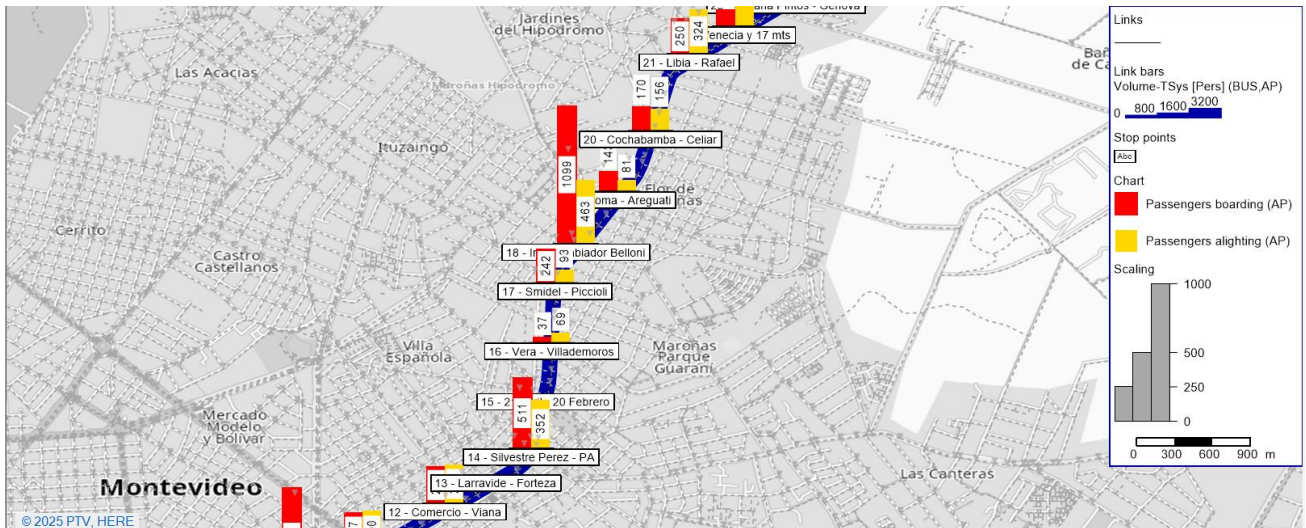


Figura 78. Asignación de transporte en período pico HPM – Tramo: Batlle y Ordoñez - Libia. Fuente: Elaboración propia

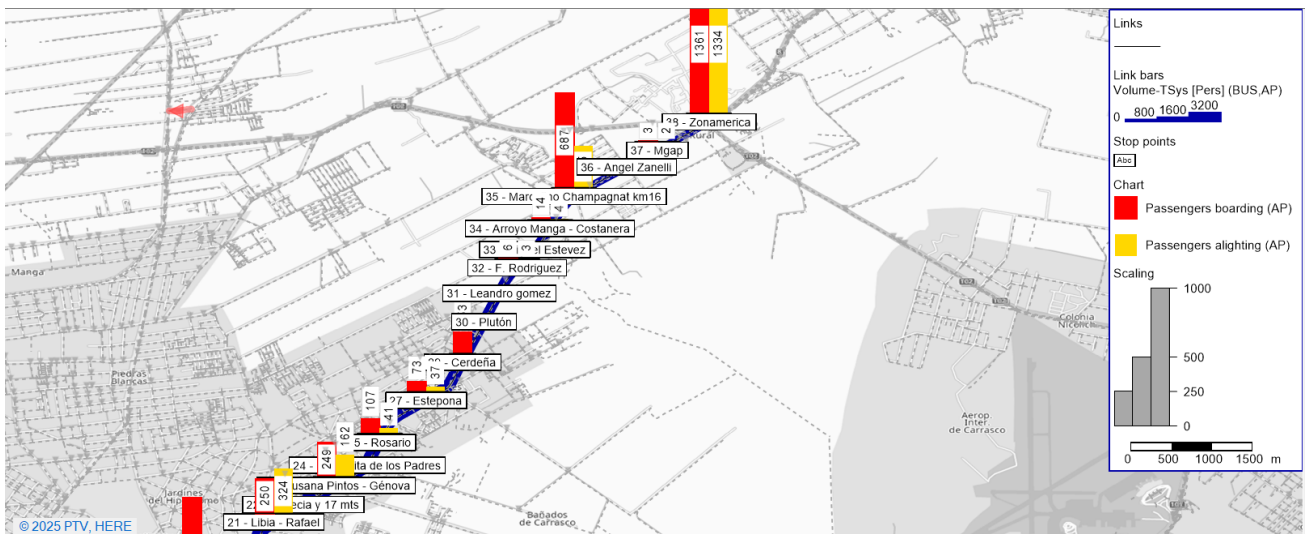


Figura 79. Asignación de transporte en período pico HPM – Tramo: Libia - Zonamerica. Fuente: Elaboración propia



9.2.1. Periodo Pico Tarde (HPT)

En el **periodo pico de la tarde** los tramos troncales siguen concentrando buena parte del movimiento, pero se observa una redistribución de flujos hacia los corredores de salida, es decir, con dirección predominante del movimiento hacia los “barrios”.

Lo que se evidencia también en una reducción en la carga del eje Rousseau- Joanicó – Urquiza, respecto a la mañana, correspondiente con una menor concentración de viajes en dirección al centro, tal como se observa en la siguiente gráfica de zoom.

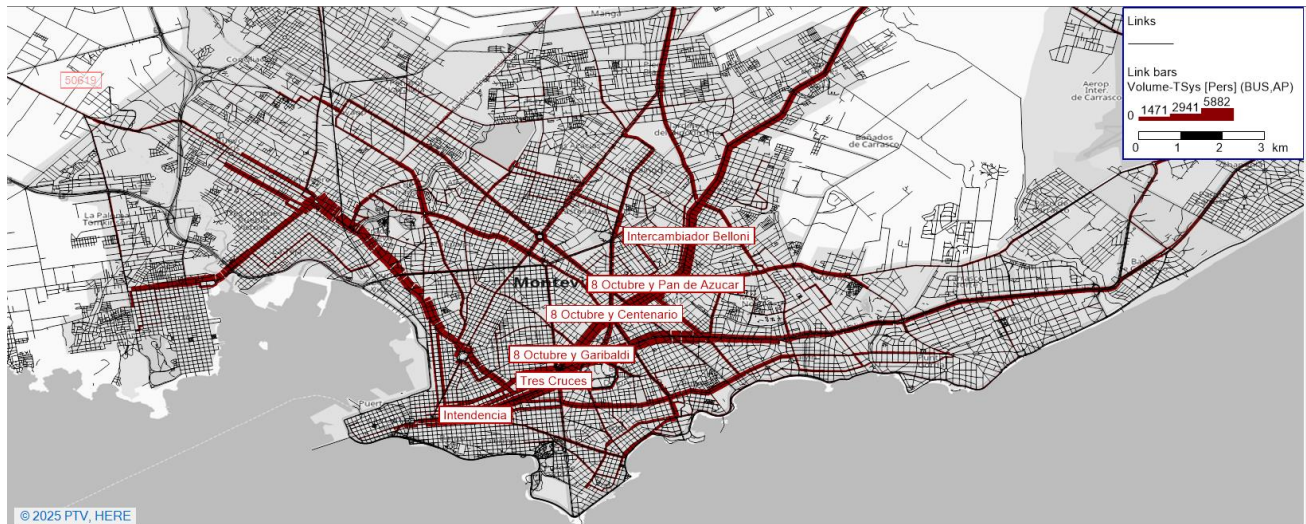


Figura 80. Asignación de transporte en periodo pico HPT. Fuente: Elaboración propia

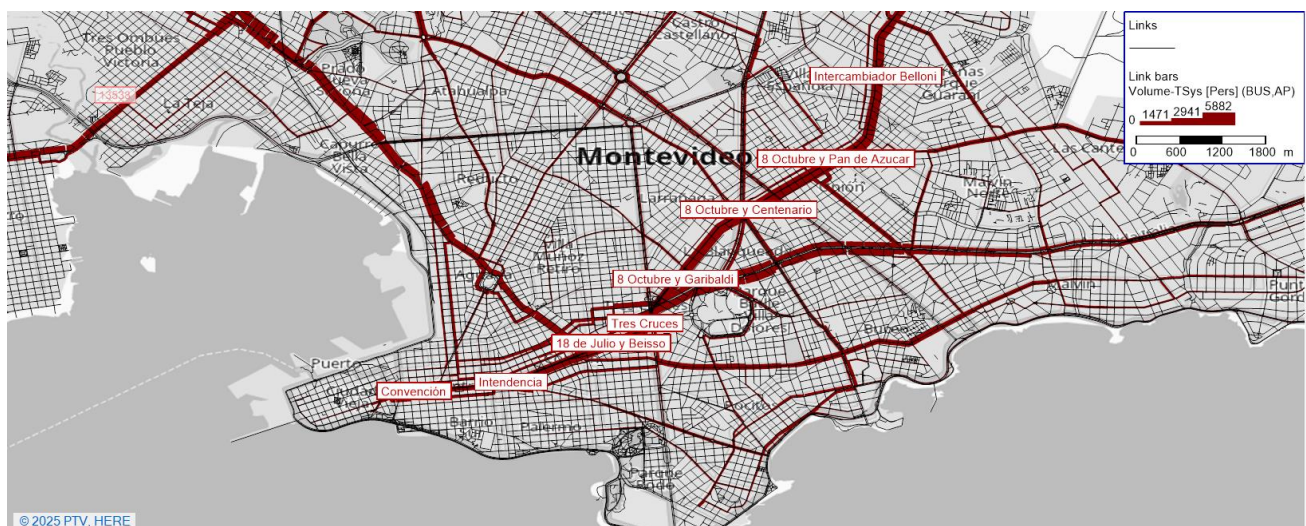


Figura 81. Asignación de transporte en periodo pico HPT. Zoom Ciudad Vieja – Int. Belloni. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se presenta el **perfil de carga de la línea troncal BRT para el periodo pico vespertino en sentido Ciudad Vieja - Zonamérica**, evidenciando los mayores desplazamientos desde el área central hacia los barrios y zonas suburbanas del este metropolitano.



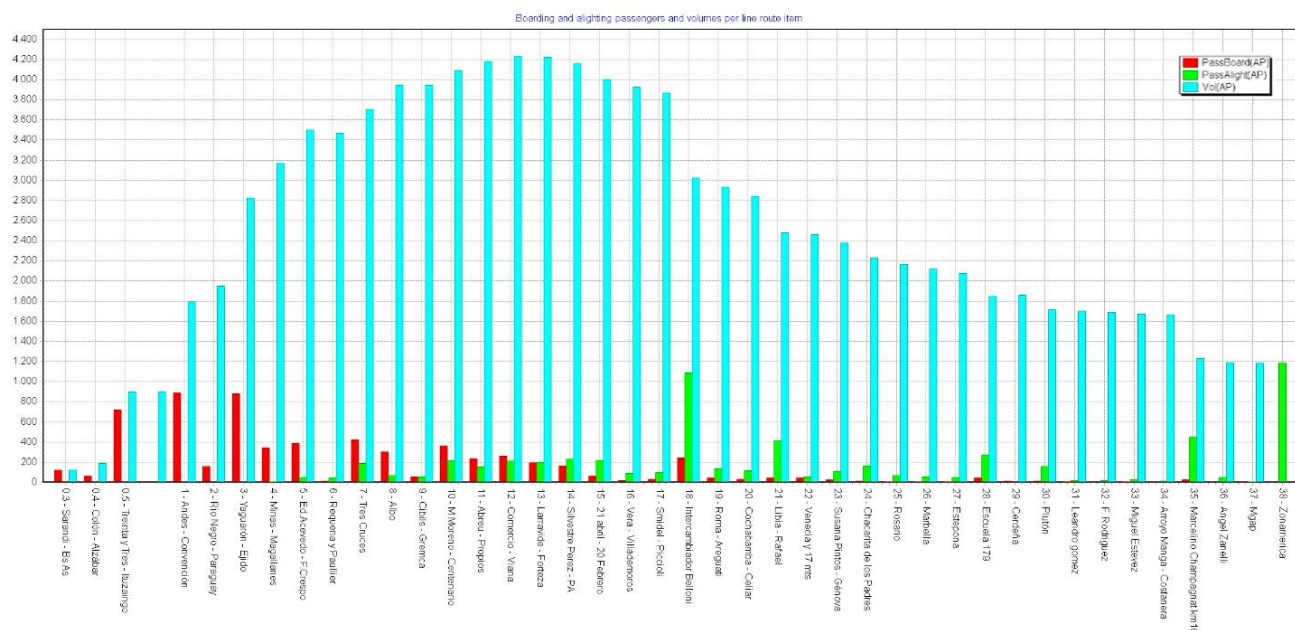


Figura 82. Perfil de carga Ciudad Vieja - Zonamerica en período pico HPT. Fuente: Elaboración propia

El gráfico refleja un comportamiento de demanda inverso al observado en la mañana, es decir, con una mayor cantidad de pasajeros en sentido este.

De esta forma, en el tramo comprendido entre Ciudad Vieja y el área central de 18 de Julio hasta Tres Cruces, los volúmenes de pasajeros se van consolidando en dirección este, con mayores ascensos en el área central, y pocos descensos concentrados que se incrementan entre las paradas de E. Acevedo – Fernández Crespo y Tres Cruces.

Entre Tres Cruces y el Intercambiador Belloni, la línea troncal prosigue su carga, aunque con una mayor cantidad de descensos que en el tramo anterior, alcanzando la máxima carga en el segmento Baille y Ordoñez – Pan de Azúcar donde se alcanzan los 4.200 pasajeros / hora-sentido transportados.

El Intercambiador Belloni, evidencia una gran cantidad de ascensos y descensos, siendo los descensos predominantes (del orden de los 1.100 pasajeros / hora – sentido) debido a las dinámicas generadas hacia las líneas alimentadoras.

En dicho sector, la demanda de las líneas que circulan por los carriles generales de 8 de Octubre alcanzan su máximo próximo a los 1.600 pasajeros/hora-sentido.





Figura 83. Intensidades de volumen HPT entorno Int. Belloni. Fuente: Elaboración propia

Entre Belloni y Zonamerica, los volúmenes descienden progresivamente, registrándose **mayores descensos** en paradas como Libia, Punta de Rieles y km 16, manteniendo niveles todavía altos hasta Zonamérica, lo que sugiere que el corredor continúa siendo relevante incluso en la periferia suburbana, donde la línea finaliza y descarga aproximadamente 1.200 pasajeros/hora-sentido.

En el sentido Zonamerica – Ciudad Vieja se presenta el siguiente perfil de carga.

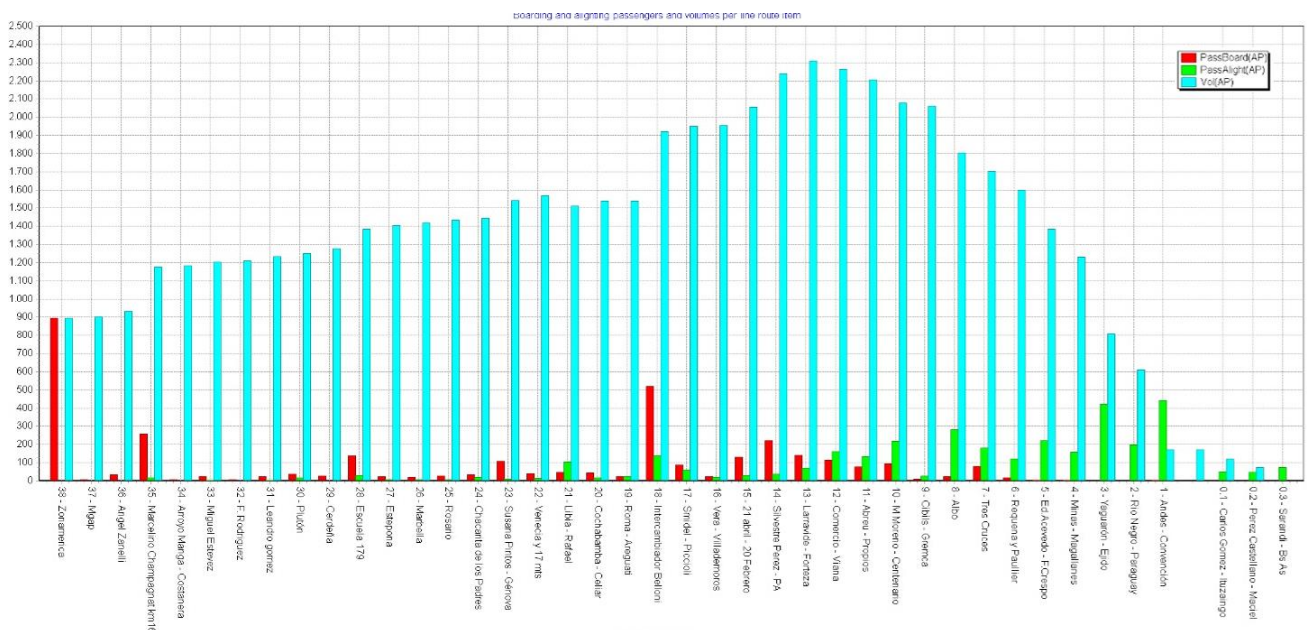


Figura 84. Perfil de carga Zonamerica - Ciudad Vieja en período pico HPT. Fuente: Elaboración propia

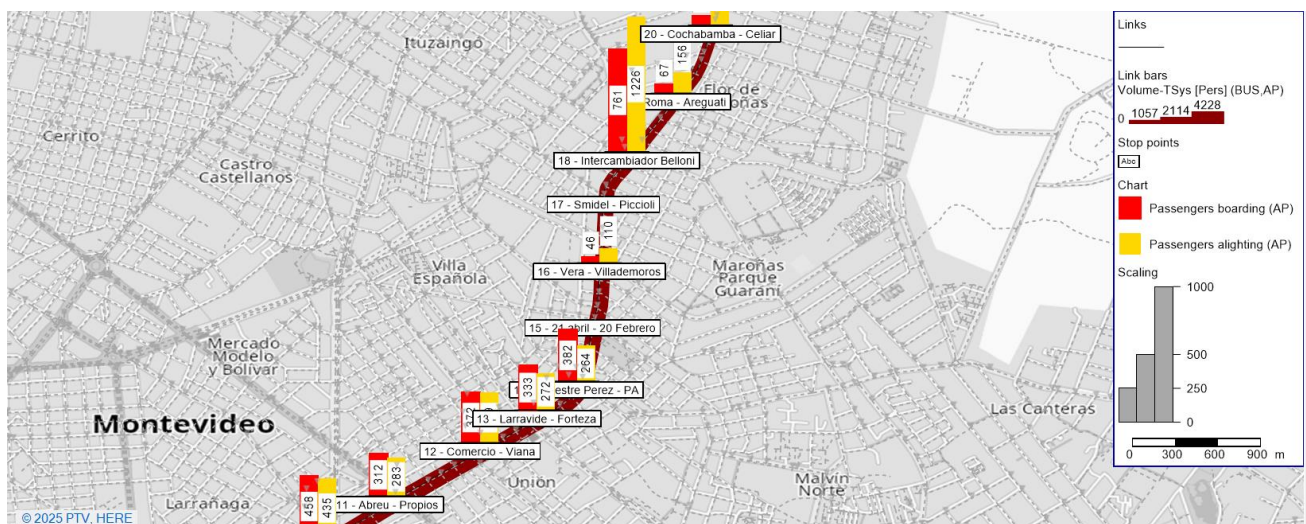
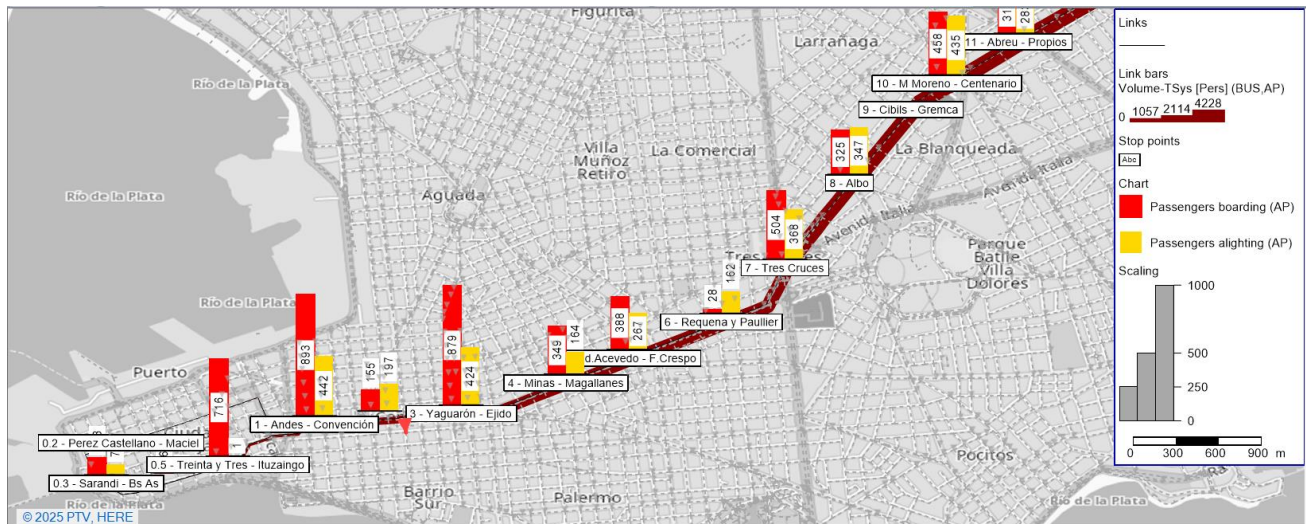


En **sentido hacia el centro**, los volúmenes de pasajeros son considerablemente menores que los registrados en el sentido saliente, tal como se ha visualizado en el contraflujo del periodo matutino.

En el **Intercambiador Belloni** se concentran nuevamente las **principales interacciones**, con un **alto número de ascensos** (del orden de los 500 pasajeros / hora-sentido) y **descensos** (del orden de los 150 pasajeros / hora – sentido), dando inicio a un tramo caracterizado por un **intenso intercambio de pasajeros**, donde predominan los **ascensos**, hasta **Pan de Azúcar**, donde se alcanza la **sección de máxima demanda**, en torno a **2.300 pasajeros/hora-sentido** transportados.

A partir de este punto, se observa una **descarga progresiva de pasajeros**, evidenciando el **ingreso al área central**. Se destaca la funcionalidad bidireccional del corredor, aunque con una clara **asimetría** respecto al flujo principal.

En las siguientes imágenes se expone la **cantidad de pasajeros/horarios asignados** a la línea troncal, junto con la cantidad de **ascensos** (barra color ROJO) y **descensos** (barra color AMARILLA) en las diferentes paradas que conforman el Corredor



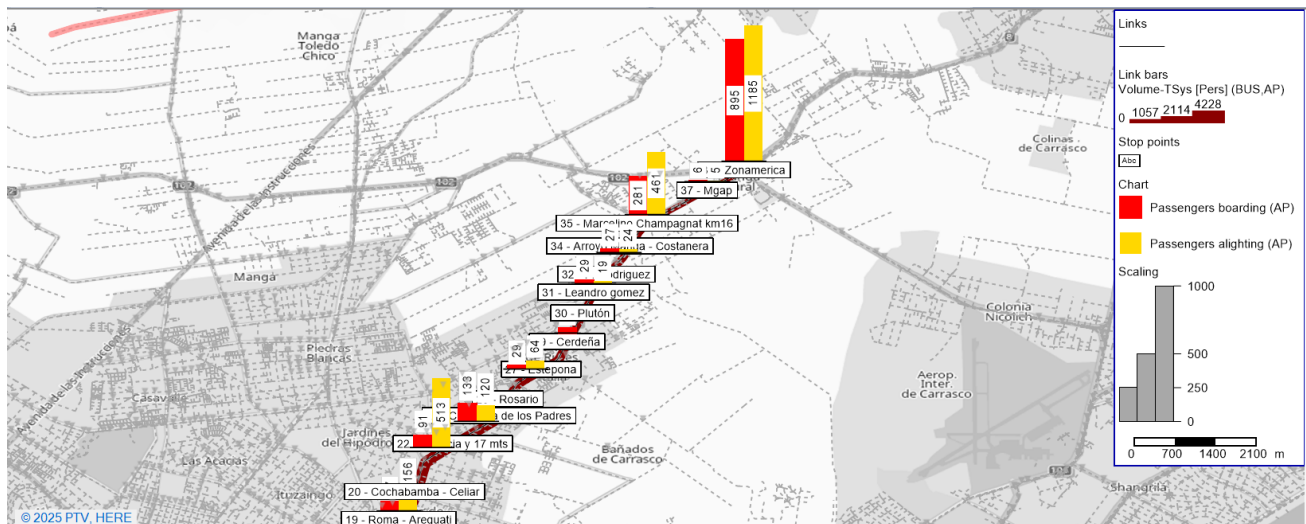


Figura 87. Asignación de transporte en período pico HPT –Tramo: Susana Pintos / Génova - Zonamerica. Fuente: Elaboración propia

9.2.2. Conclusiones del escenario punta a punta

El escenario presentado corresponde a una **primera aproximación** con un **único servicio troncal de punta a punta**, diseñado para evaluar la capacidad del corredor principal de absorber los flujos de pasajeros a lo largo de toda su extensión.

En conjunto, los resultados reflejan una **red estructurada y coherente** con los **objetivos del rediseño**, donde los **flujos principales se canalizan adecuadamente** por el eje troncal del BRT, mientras que los servicios complementarios mantienen la **conectividad transversal y periférica**.

Desde el punto de vista espacial, el comportamiento de la demanda evidencia la jerarquía funcional del corredor:

- **Zonamérica** se consolida como un **extremo generador y atractor significativo**, con alta carga de inicio y fin de viaje asociada al **trasbordo con las líneas alimentadoras**.
- En el tramo **Zonamérica – Belloni**, se registra una **intercambio de pasajeros considerables**, particularmente en los nodos **km 16, Punta de Rieles y Libia**, que funcionan como puntos intermedios de intercambio.
- El segmento **Belloni – Tres Cruces** concentra los **máximos niveles de demanda** en ambos periodos pico, constituyendo el **núcleo funcional del corredor**, donde deberían **priorizarse mayores frecuencias y capacidades operativas**. Además se destaca la intensidad tanto de ascensos y descensos en los diferentes picos estudiados.
- Entre **Tres Cruces y Plaza Independencia**, se mantiene una **alta utilización de paradas sobre 18 de Julio**, con flujos **bidireccionales**, lo que refuerza la relevancia de este eje en la distribución de viajes.
- Finalmente, el tramo **Plaza Independencia – Ciudad Vieja** presenta una **menor intensidad de uso**, lo que sugiere la posible **competencia con otras alternativas de transporte y/o una menor densidad de destinos específicos** en esa sección.

De este modo la troncalización propuesta **tiende a ordenar la distribución de pasajeros y reforzar la jerarquía funcional del sistema**.



10. Análisis de Alternativas de Servicios Troncales

10.1. Retornos operacionales

Para el análisis operativo de los servicios troncales, se han elaborado mapas esquemáticos identificando los puntos de retorno operacional estratégicos. Estas ubicaciones son fundamentales para la regulación de la frecuencia y para las estrategias de fin de ruta. A continuación, se detalla la situación propuesta para cada punto identificado:

10.1.1. Ciudad Vieja:

Mapeado como una opción de retorno de "fin de ruta". Aunque no se configura estrictamente como un retorno operacional intermedio, su inclusión es vital para la representación completa de las alternativas de finalización de viajes en la trama central.



Figura 88. Esquema de Retorno Operativo – Ciudad Vieja. Fuente: Elaboración propia.



10.1.2. Plaza Independencia:

El esquema refleja la geometría actual de la plaza, validando el retorno existente como punto operativo consolidado.

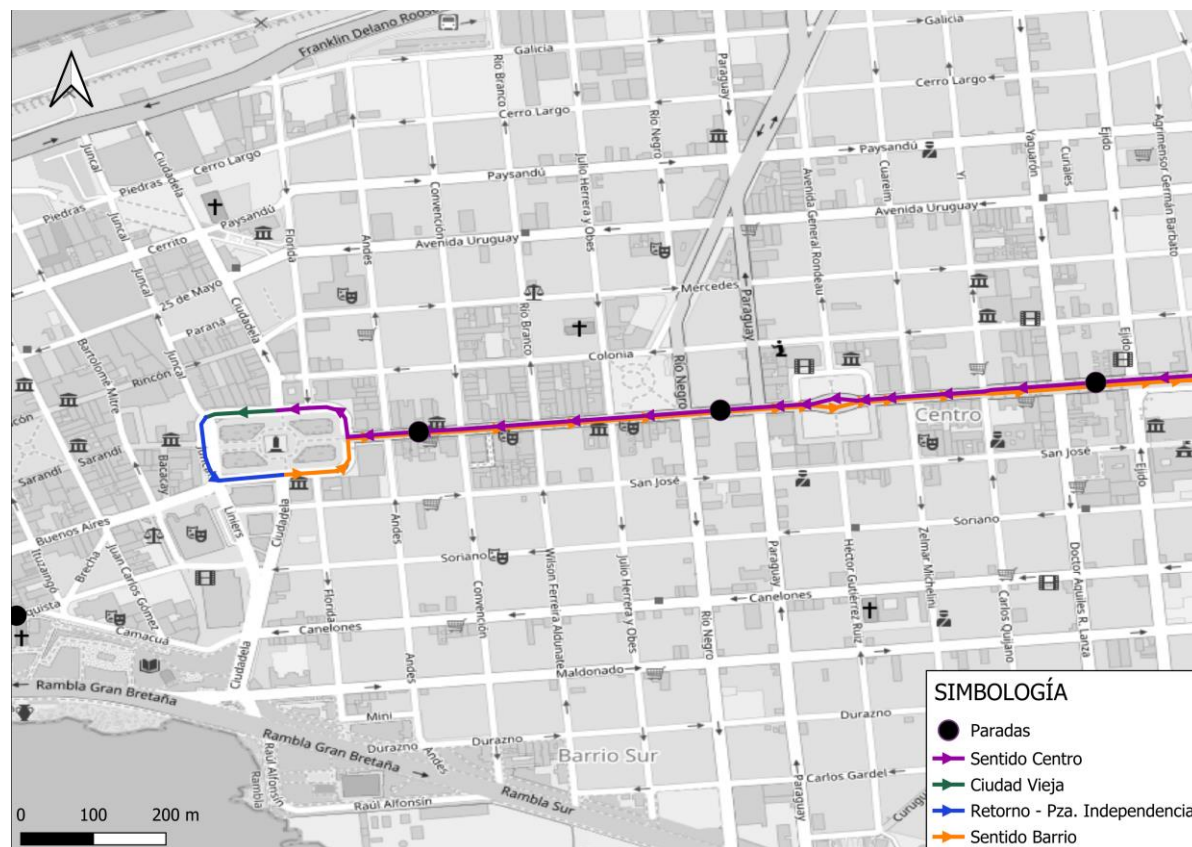


Figura 89. Esquema de Retorno Operativo – Plaza Independencia. Fuente: Elaboración propia.

10.1.3. Tres Cruces:

La solución propuesta contempla el futuro complejo viario de la estación. Los retornos operacionales (en ambos sentidos) están proyectados para ser subterráneos, integrados a la infraestructura viaria soterrada prevista en el anteproyecto de la estación. El esquema gráfico considera esta configuración futura. En este punto del corredor es posible realizar retorno de los vehículos en ambos sentidos: tanto provenientes de Ciudad Vieja/Plaza Independencia para retornar sentido Plaza Independencia/Ciudad Vieja (Figura 90), como también provenientes de Zonamerica/Libia/Belloni para retornar sentido Zonamerica/Libia/Belloni (Figura 91).

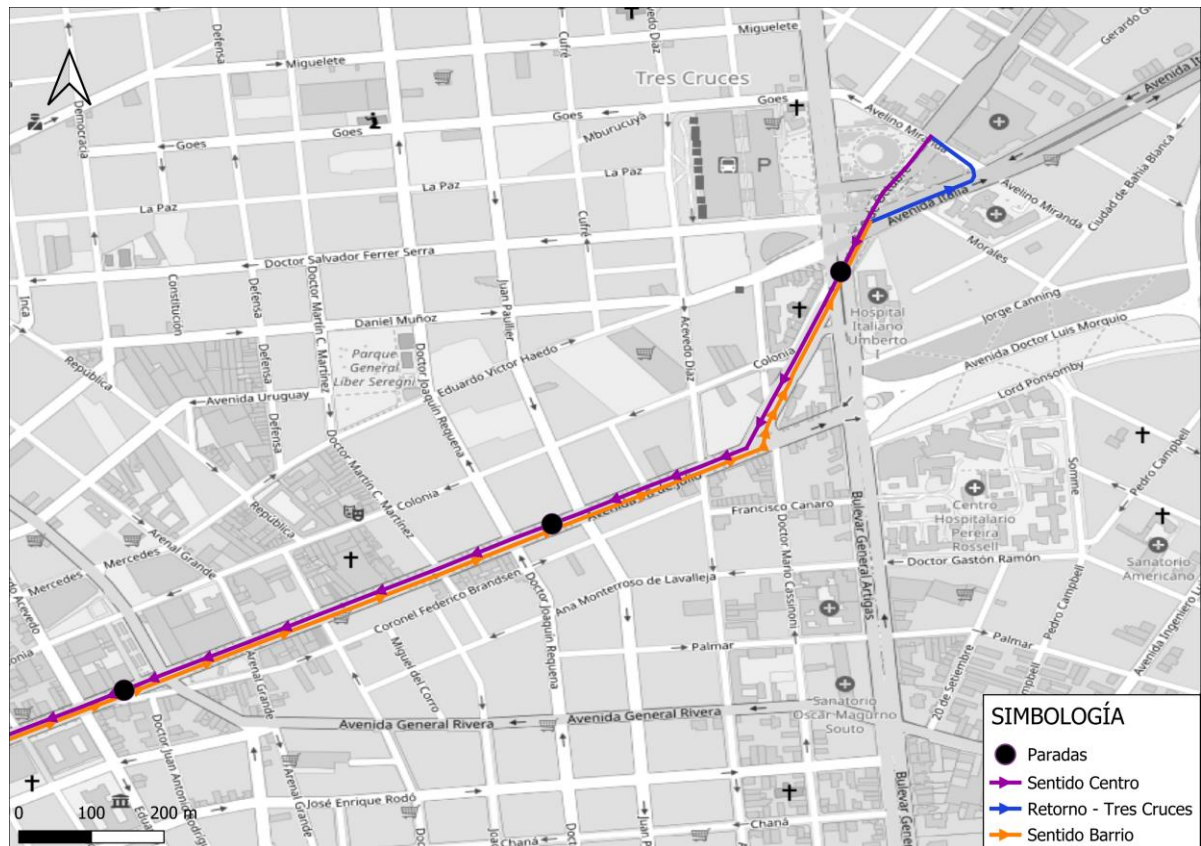


Figura 90. Esquema de Retorno Operativo – Tres Cruces (Centro). Fuente: Elaboración propia.



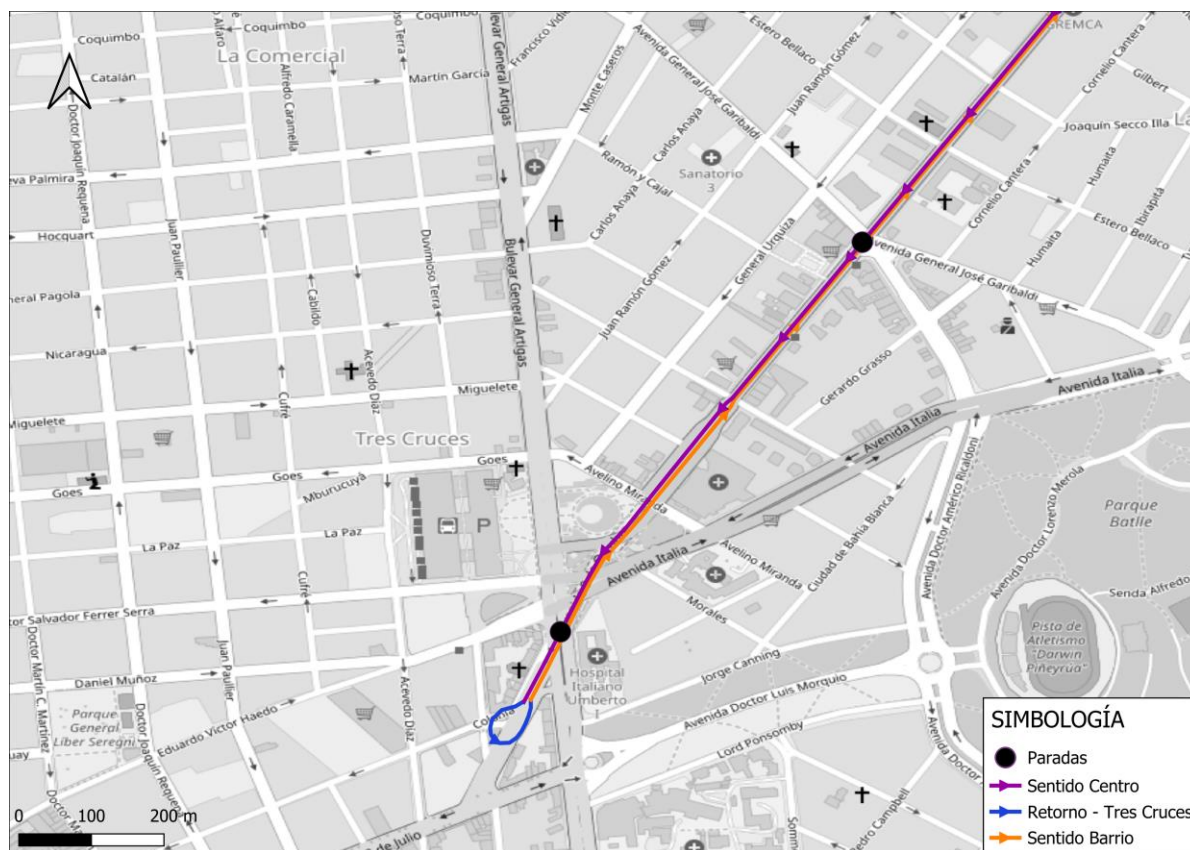


Figura 91. Esquema de Retorno Operativo – Tres Cruces (Barrio). Fuente: Elaboración propia.



10.1.4. Libia:

El retorno fue ubicado utilizando como base la infraestructura existente, configurándose como un carril separado a la derecha de la vía, en las proximidades de la Av. Luis Braille. Este punto servirá como parada fuera de la calzada principal.

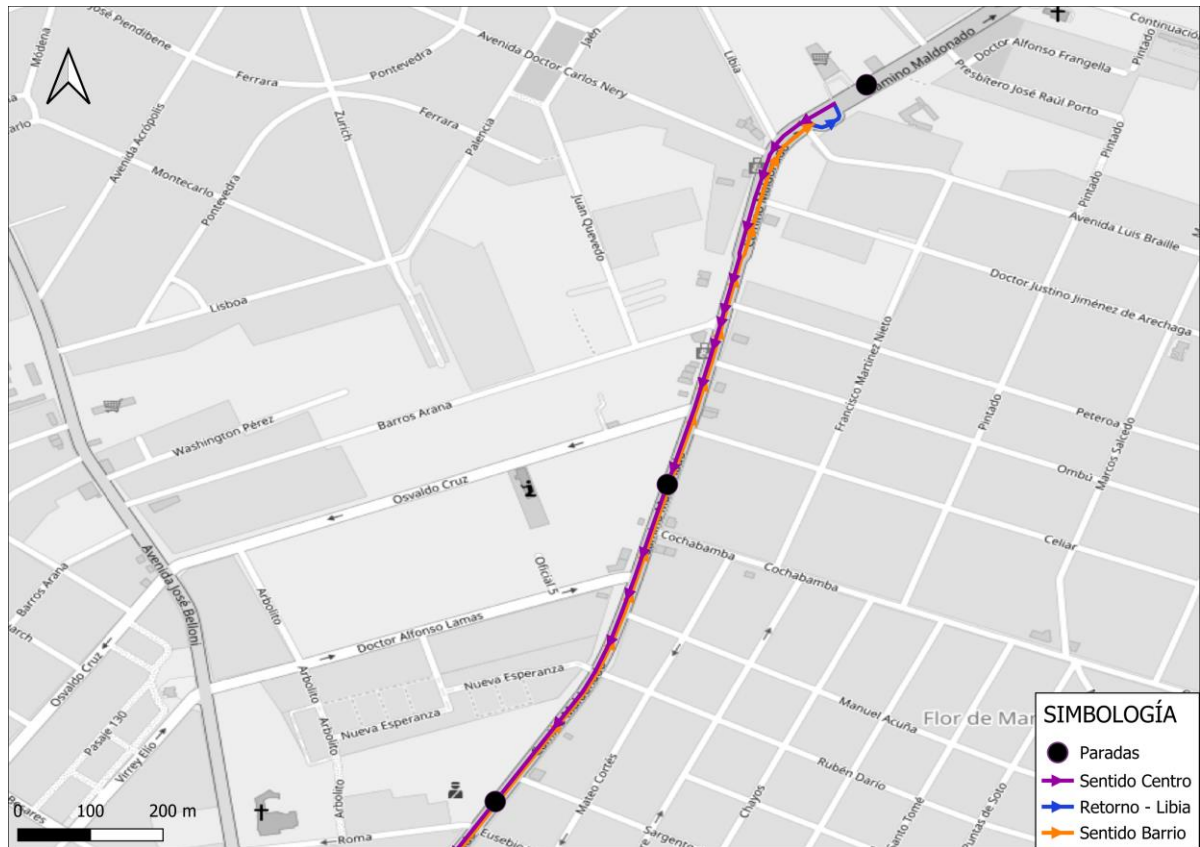


Figura 92. Esquema de Retorno Operativo – Libia. Fuente: Elaboración propia.



10.1.5. Zonamérica:

Como aún no existe un proyecto geométrico ejecutivo para este área, la representación en el mapa es esquemática. El objetivo es indicar la ubicación estratégica del retorno para fines de simulación y planificación, sin definir el trazado viario final en esta etapa.

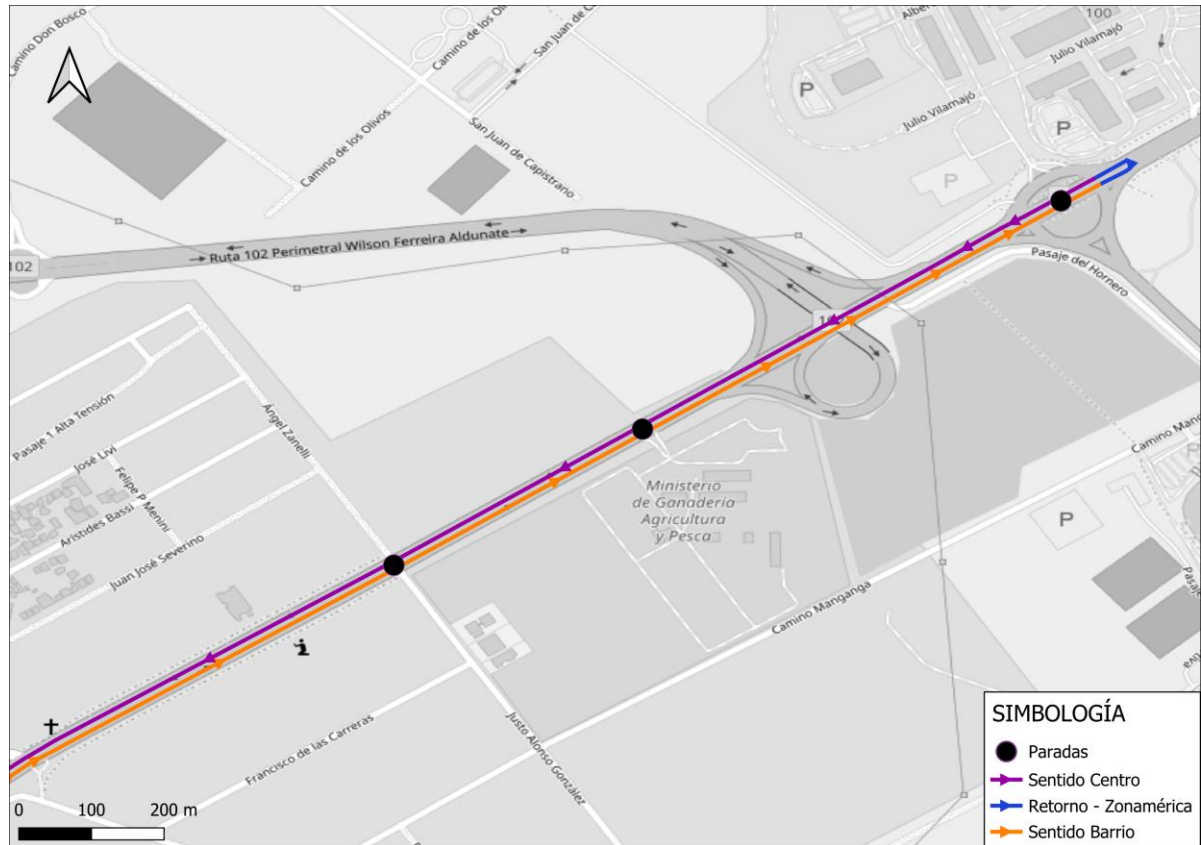


Figura 93. Esquema de Retorno Operativo – Zonamérica. Fuente: Elaboración propia.



10.2. Metodología de Evaluación

La evaluación de desempeño de los escenarios se basa en indicadores de confort y ocupación vehicular, fundamentales para garantizar que la economía de flota no degrade la calidad del servicio.

- **Perfil de Carga y Ocupación:** Para cada escenario, se presenta una tabla detallada del perfil de carga a lo largo de la ruta. La construcción de esta tabla sigue la siguiente lógica de cálculo:
 - **Ascensos y Descensos:** Corresponden a los volúmenes de pasajeros que embarcan y desembarcan en cada parada, derivados de la matriz de demanda asignada.
 - **Carga:** Calculada dinámicamente, representa el volumen de pasajeros dentro del vehículo en el tramo subsiguiente a la parada.
 - **Ocupación (%):** Es la razón entre la Carga y la Capacidad Nominal del vehículo.
 - **Criterio de Diseño:** Se estableció como meta operativa mantener la ocupación máxima en hasta el 85% de la capacidad nominal del vehículo durante los picos. Este umbral busca ofrecer un margen de seguridad operacional para absorber variabilidades estocásticas de la demanda.
 - **Nivel de Ocupación:** Clasificación numérica basada en la densidad de pasajeros de pie (pax/m²).
- **Indicador Sintético de Nivel de Ocupación (Pax·km):** Complementariamente, se utiliza un indicador que representa la proporción de la demanda que utiliza los servicios troncales en cada nivel de ocupación vehicular. La formulación utilizada aquí es una adaptación de la metodología propuesta en el documento “Definición, medición y gestión de la calidad de servicio del transporte público para ciudades de América Latina”⁸, reemplazando el tiempo gasto por los pasajeros por la distancia recorrida por los pasajeros en cada nivel de ocupación de los ómnibus. El objetivo es diferenciar situaciones entre la cantidad del servicio ofrecido con saturación dentro de los rangos deseables (niveles 3 y 4, entre 40% y 80% de la capacidad), la cantidad operando con baja ocupación, lo que significa mayor ociosidad (niveles 1 y 2, hasta 40% de la capacidad), y, principalmente, la proporción de los viajes que se realiza con ocupación excesiva (niveles 5 y 6, superior a 80% de la capacidad).

10.3. Periodo Pico Mañana (HPM)

El análisis del Horario de Pico de la Mañana se enfoca en el sentido Barrio-Centro, identificado con la mayor demanda de pasajeros. El análisis se orienta en la capacidad del sistema para absorber la demanda pendular matutina, caracterizada por embarques distribuidos a lo largo del corredor y descensos concentrados en los polos de atracción (Tres Cruces, Centro).

10.3.1. Escenario 0 (Base)

El Escenario Base para la mañana opera bajo la lógica convencional de ruta única, sin segmentación de la oferta. La flota completa recorre todo el eje, desde la periferia hasta el punto final en la Ciudad Vieja.

⁸ Definición, medición y gestión de la calidad de servicio del transporte público para ciudades de América Latina. 2022. CAF. Disponible en: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1969>



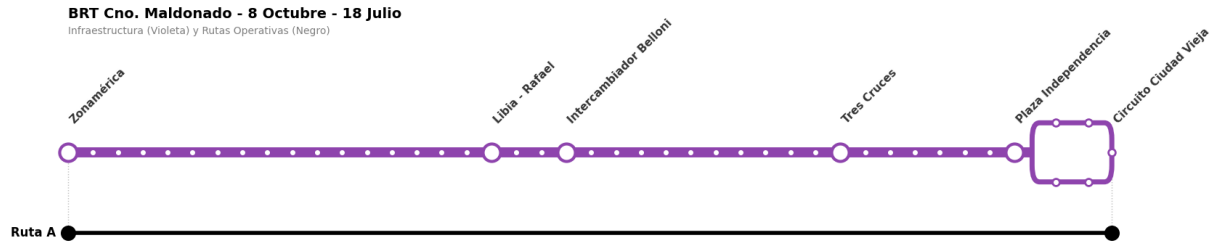


Figura 94. Diagrama de Rutas - Escenario 0 HPM. Fuente: Elaboración propia.

En este escenario, el sistema operaría con una flota de 50 vehículos biarticulados, que permiten sostener una frecuencia uniforme de 26 buses por hora y sentido en todas las estaciones. Cabe destacar que este valor difiere de los 30 servicios por hora y sentido modelados inicialmente para el escenario punta a punta (ver capítulo 9), los cuales fueron posteriormente ajustados a partir de la demanda máxima resultante del proceso de asignación.

Tabla 20. Diseño operativo por ruta - Escenario 0 HPM.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehiculo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamerica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	26	2,31	5200	50	1.055	0%
	Total						26	2,31	5.200	50	1.055	

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico de dimensionamiento muestra una línea de oferta (azul claro) totalmente plana de 5.200 plazas/hora. Esta configuración revela una ineficiencia estructural en el tramo final: mientras la demanda (línea azul oscuro) cae drásticamente después de Plaza Independencia, la oferta se mantiene máxima, generando un desperdicio de capacidad en el casco histórico. El ciclo operativo resulta en 1.055 km recorridos, el más alto de todas las alternativas.

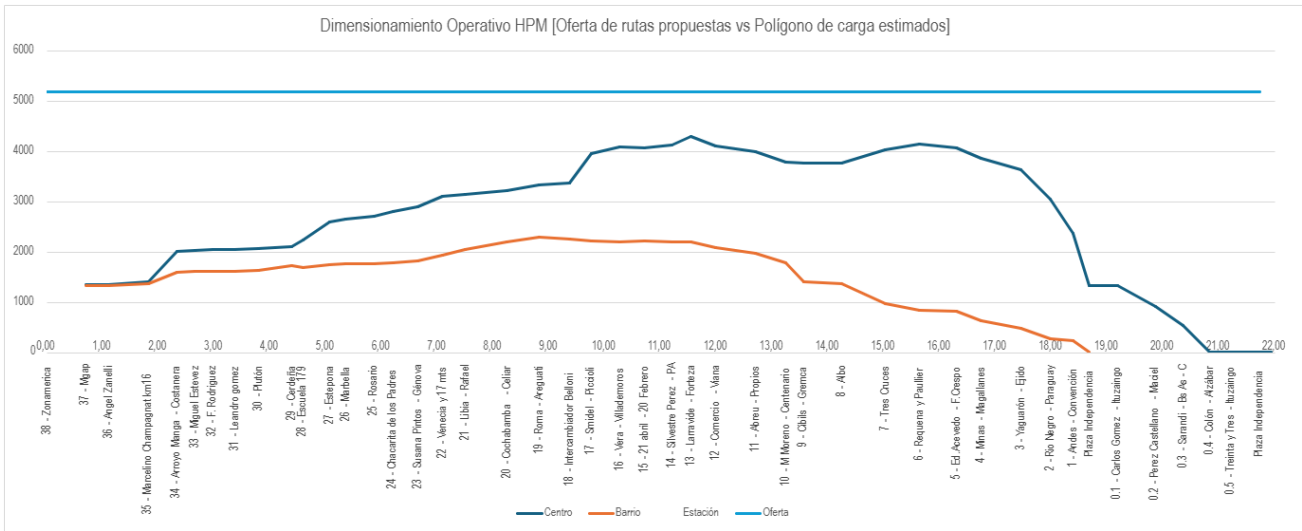


Figura 95. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 0 HPM. Fuente: Elaboración propia.



Debido a la gran cantidad de flota, los niveles de ocupación son bajos. El punto de máxima carga se registra en la estación Silvestre Pérez, con 4.298 pasajeros/hora. En este tramo crítico, la ocupación alcanza el 83% (Nivel 5), respetando la premisa de diseño. Sin embargo, la ocupación cae a niveles inferiores al 20% en la Ciudad Vieja, confirmando la subutilización de los recursos en el destino.

El índice de calidad refleja un servicio muy holgado, producto de la sobreoferta:

Tabla 21. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 0 HPM.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	931	2.710	1%	3%	4%	31%
2	40%	7.603	16.158	9%	18%	27%	
3	60%	11.312	9.952	13%	11%	24%	67%
4	80%	38.140	0	43%	0%	43%	
5	100%	1.466	0	2%	0%	2%	2%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.

10.3.2. Escenario 1

El Escenario 1 propone una primera medida de racionalización operativa, enfocándose en la gestión de la flota en el borde del área central, dividiendo los servicios para evitar el ingreso masivo a la Ciudad Vieja.

La operación mantiene un origen único en Zonamérica, pero divide la flota en dos rutas según su punto de retorno:

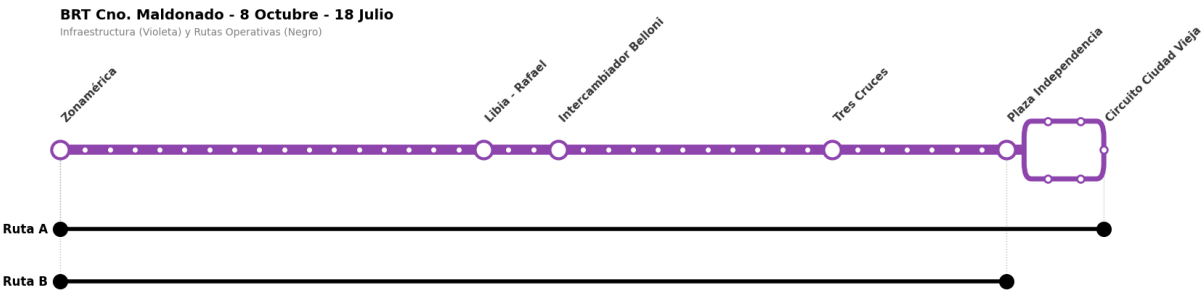


Figura 96. Diagrama de Rutas - Escenario 1 HPM. Fuente: Elaboración propia.

Esta configuración permite reducir la flota a 46 vehículos y el ciclo a 997 km.



Tabla 22. Diseño operativo por ruta - Escenario 1 HPM.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehículo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamerica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	8	7,50	1600	16	325	0%
B	38 - Zonamerica	00-Plaza Independencia	37,334	98,31	22,79	Biarticulados	18	3,33	3600	30	672	0%
Total							26	2,31	5.200	46	997	

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico de dimensionamiento muestra que la oferta cae escalonadamente en Plaza Independencia (de 5.200 a 1.600 plazas/hora), ajustándose a la demanda real.

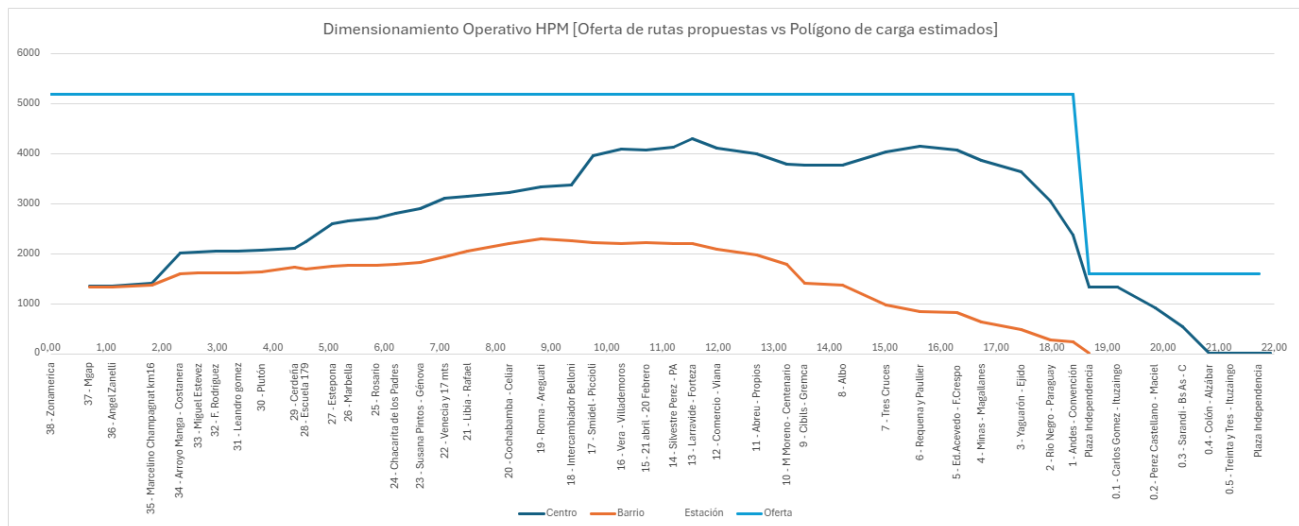


Figura 97. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 1 HPM. Fuente: Elaboración propia.

La capacidad conjunta de 26 buses/hora en el tramo troncal soporta adecuadamente la presión matutina. El volumen máximo de 4.298 pasajeros genera una ocupación pico del 83% (Nivel 5) en Silvestre Pérez, idéntica al escenario base, lo que valida que la reducción de flota en el extremo final no afecta el tramo crítico.

Los indicadores confirman que este escenario afecta muy poco la experiencia del usuario, manteniendo niveles de confort superiores:

Tabla 23. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 1 HPM.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	27	2.710	0%	3%	3%	30%
2	40%	7.212	16.158	8%	18%	26%	
3	60%	11.938	9.952	14%	11%	25%	68%
4	80%	38.140	0	43%	0%	43%	
5	100%	2.134	0	2%	0%	2%	2%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.



10.3.3. Escenario 2

El Escenario 2 introduce una sofisticación operativa mediante la inyección de flota en la estación Libia, reconociendo que la demanda recibe un aporte masivo de pasajeros en la zona intermedia del corredor (Curva de Maroñas/Unión).

La configuración se basa en tres rutas superpuestas:

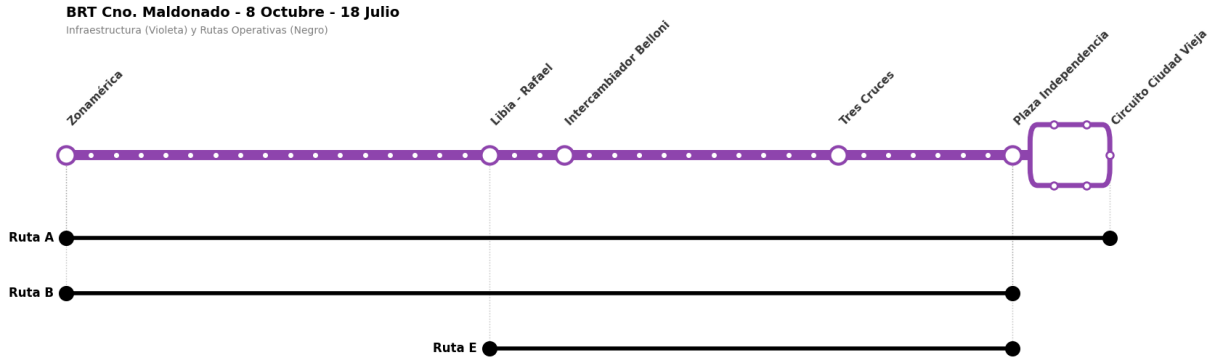


Figura 98. Diagrama de Rutas - Escenario 2 HPM. Fuente: Elaboración propia.

Esto permite operar con 42 vehículos y un ciclo de 877 km.

Tabla 24. Diseño operativo por ruta - Escenario 2 HPM.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehículo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamerica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	8	7,50	1600	16	325	0%
B	38 - Zonamerica	00-Plaza Independencia	37,334	98,31	22,79	Biarticulados	10	6,00	2000	17	373	0%
E	21 - Libia - Rafael	00-Plaza Independencia	22,360	60,43	22,20	Biarticulados	8	7,50	1600	9	179	0%
Total							26	2,31	5.200	42	877	

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico muestra un escalón ascendente de oferta en Libia, optimizando el uso de recursos.

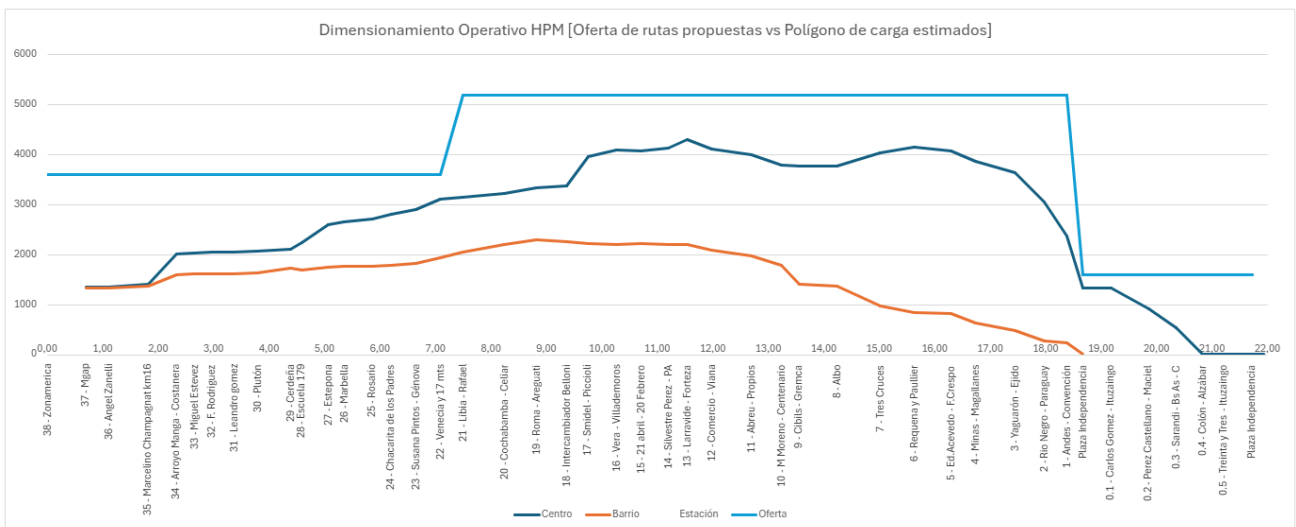


Figura 99. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 2 HPM. Fuente: Elaboración propia.



El tramo crítico (Silvestre Pérez) maneja una carga máxima de 4.298 pasajeros, con una ocupación controlada del 83%. La inyección táctica evita la saturación sin desperdiciar plazas en el inicio de la línea.

El análisis demuestra que la inyección estratégica de flota permite absorber el pico de demanda manteniendo altos estándares de confort general, pero con un pequeño aumento de los niveles de ocupación elevados (de 2% a 7%) acompañado de una reducción de la ociosidad (cae de 30% a 14% la demanda viajando a bajas ocupaciones):

Tabla 25. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 2 HPM.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	27	2.710	0%	3%	3%	14%
2	40%	3.161	6.240	4%	7%	11%	
3	60%	8.516	19.870	10%	23%	32%	79%
4	80%	41.658	0	47%	0%	47%	
5	100%	6.089	0	7%	0%	7%	7%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.

10.3.4. Escenario 3

El Escenario 3 representa la propuesta de optimización agresiva. Su diseño busca minimizar al extremo el consumo de recursos (flota y kilómetros), ajustando la oferta estrictamente a la demanda promedio. Sin embargo, esta eficiencia conlleva una reducción de los márgenes de holgura operativa, elevando el riesgo de saturación en tramos específicos.

La configuración se basa en un esquema de tres servicios escalonados, introduciendo un corte de servicio estratégico en el nodo de Tres Cruces:

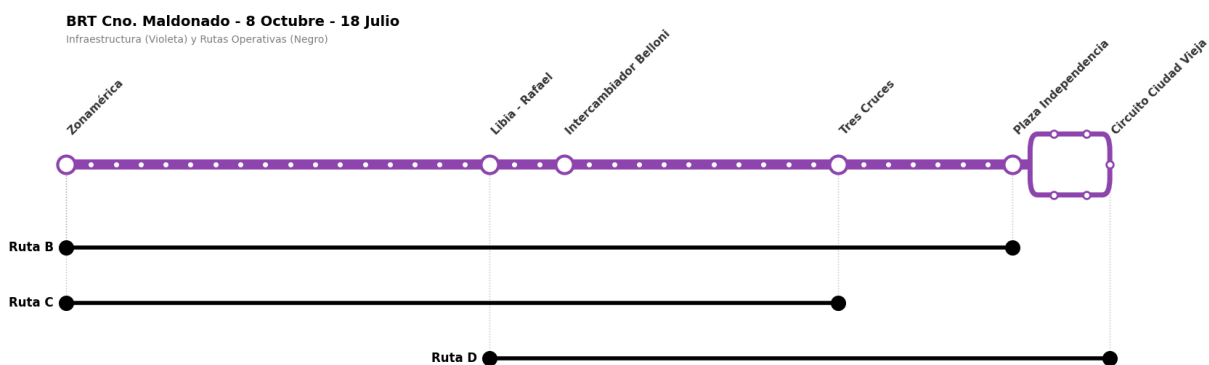


Figura 100. Diagrama de Rutas - Escenario 3 HPM. Fuente: Elaboración propia.

Este escenario, permite operar con una flota mínima de 40 vehículos y 853 km de recorrido.



Tabla 26. Diseño operativo por ruta - Escenario 3 HPM.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehículo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
B	38 - Zonamerica	00-Plaza Independencia	37,334	98,31	22,79	Biarticulados	14	4,29	2800	23	523	0%
C	38 - Zonamerica	07 - Tres Cruces	31,260	86,58	21,66	Biarticulados	4	15,00	800	6	125	0%
D	21 - Libia - Rafael	-1 - Ciudad Vieja	25,618	75,51	20,36	Biarticulados	8	7,50	1600	11	205	0%
Total							26	2,31	5.200	40	853	

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico de oferta es altamente adaptativo: sube en Libia y desciende escalonadamente en Tres Cruces y Plaza Independencia.

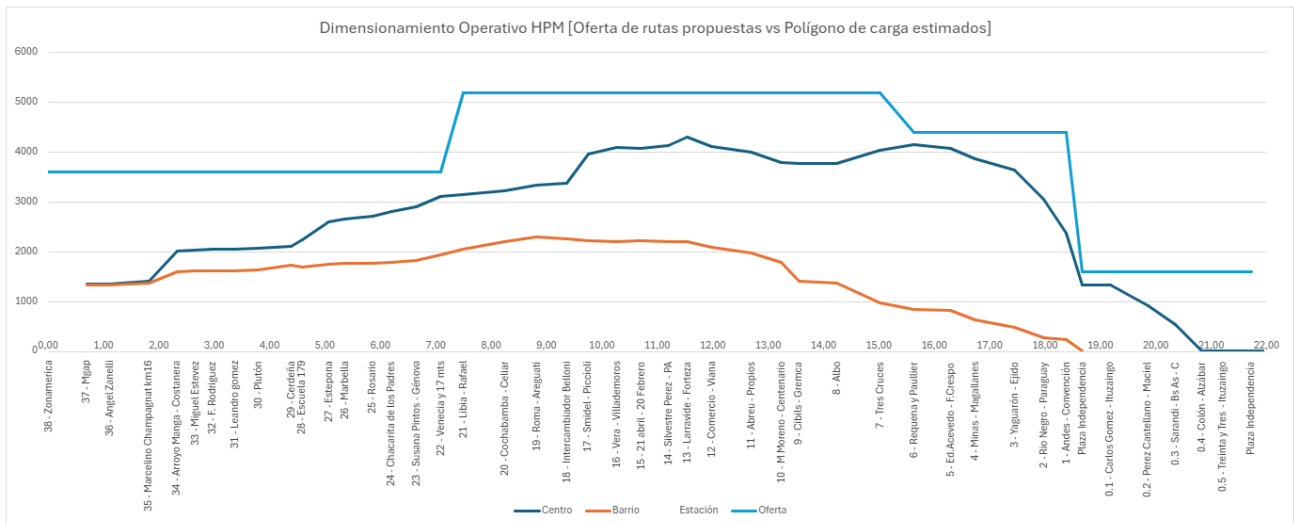


Figura 101. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 3 HPM. Fuente: Elaboración propia.

Si bien la reducción de flota genera el mayor ahorro económico del estudio, el análisis de carga revela un punto crítico de estrés en el sistema. Al retirar la capacidad de la Ruta 2 en Tres Cruces, la oferta remanente se ve presionada por la demanda que continúa hacia el centro. Indicando que, aunque el sistema es viable técnicamente (no llega al 100%), opera sin margen de seguridad en este sector, lo que podría derivar en problemas de confort o pasajeros en espera en días de demanda atípica.

El Escenario 3 ofrece la máxima eficiencia financiera, pero penaliza el nivel de servicio en el tramo Tres Cruces-Centro, aumentando a 15% las distancias recorridas en ocupaciones superiores a 80% de la capacidad.

Tabla 27. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 3 HPM.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	27	2.710	0%	3%	3%	14%
2	40%	3.161	6.240	4%	7%	11%	
3	60%	6.919	19.870	8%	23%	30%	71%
4	80%	36.263	0	41%	0%	41%	
5	100%	13.081	0	15%	0%	15%	15%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.

10.4. Periodo Pico Tarde (HPT)

El análisis del Horario de Pico de la Tarde se enfoca en el sentido Centro-Barrio identificado con la mayor demanda de pasajeros. Este período se caracteriza por una dinámica de evacuación del centro expandido, donde la concentración temporal de la demanda es más aguda que en el período de la mañana, generando desafíos significativos para el dimensionamiento de la capacidad.

10.4.1. Escenario 0 (Base)

El Escenario Base refleja una operación rígida donde la totalidad de la flota cubre la extensión completa del corredor sin estrategias de fraccionamiento.

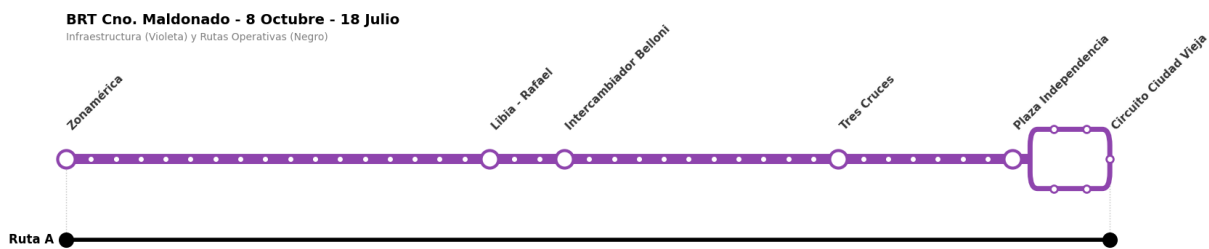


Figura 102. Diagrama de Rutas - Escenario 0 HPT. Fuente: Elaboración propia.

La flota completa de 50 vehículos mantiene una frecuencia de 26 buses/hora en todo el eje. Del mismo modo que en el análisis HPM, cabe destacar que este valor difiere de los 30 servicios por hora y sentido modelados inicialmente para el escenario punta a punta (ver capítulo 9), los cuales fueron posteriormente ajustados a partir de la demanda máxima resultante del proceso de asignación.

Tabla 28. Diseño operativo por ruta - Escenario 0 HPT.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehículo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamérica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	26	2,31	5200	50	1.055	0%
	Total						26	2,31	5.200	50	1.055	

Fuente: Elaboración propia.

La oferta es plana (5.200 plazas/hora), generando capacidad ociosa en los extremos (Zonamérica y Ciudad Vieja). Este escenario consume 1.055 km por ciclo.



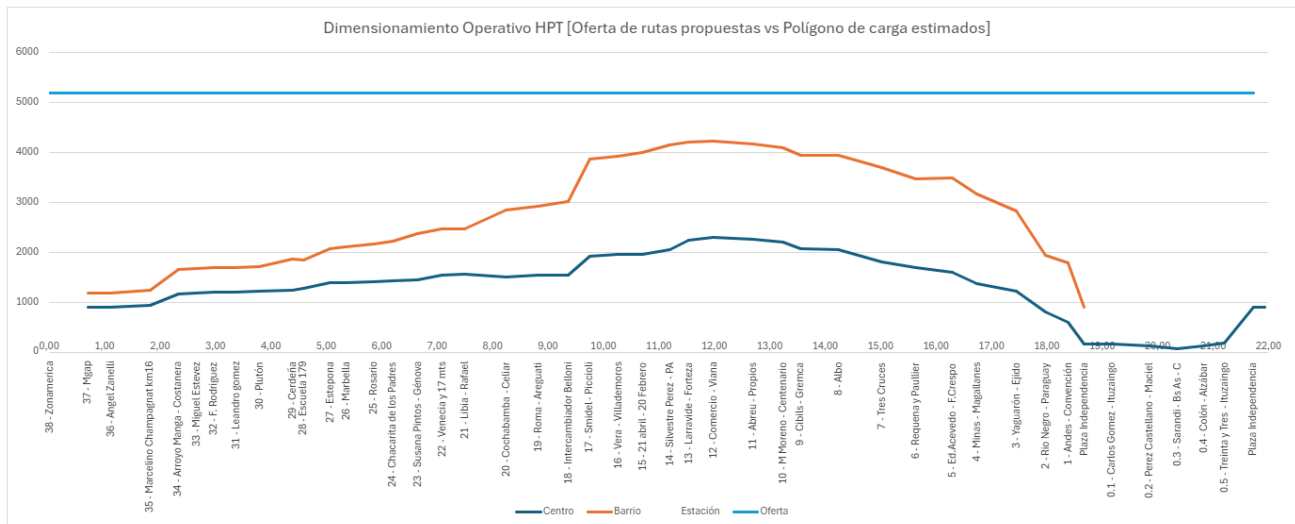


Figura 103. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 0 HPT. Fuente: Elaboración propia.

En el tramo crítico (Silvestre Pérez - Larravide), se alcanza la carga máxima de 4.228 pasajeros, con una ocupación del 81%. Los 10 vehículos extra respecto al escenario óptimo circulan vacíos en la periferia sin mejorar el confort en el pico.

El análisis de la distribución de Pax*km muestra un nivel de servicio elevado, aunque logrado a costa de altas tasas de ociosidad (mayor ineficiencia en el uso de la flota):

Tabla 29. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 0 HPT.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	3.347	256	4%	0%	4%	43%
2	40%	21.124	9.738	26%	12%	38%	
3	60%	4.608	13.103	6%	16%	22%	49%
4	80%	0	22.190	0%	28%	28%	
5	100%	0	6.305	0%	8%	8%	8%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.

10.4.2. Escenario 1

El Escenario 1 racionaliza el extremo central, dividiendo la operación en dos servicios troncales para evitar la sobreoferta en la Ciudad Vieja.



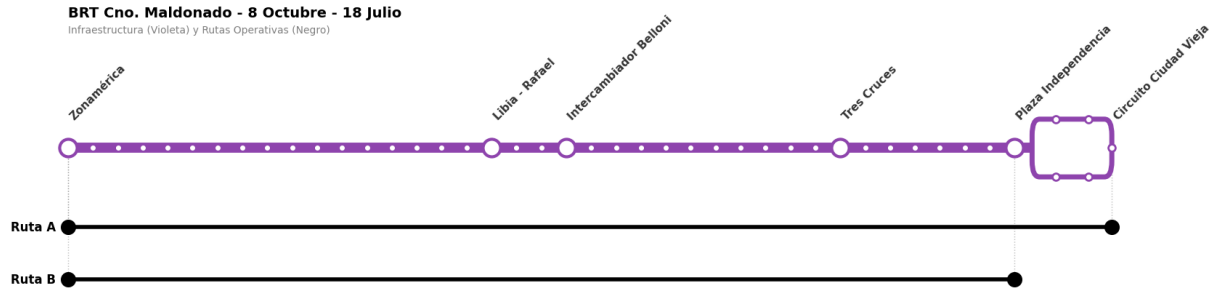


Figura 104. Diagrama de Rutas - Escenario 1 HPT. Fuente: Elaboración propia.

Se utiliza una flota de 46 vehículos y el ciclo baja a 1.010 km.

Tabla 30. Diseño operativo por ruta - Escenario 1 HPT.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehiculo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamerica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	12	5,00	2400	23	487	0%
B	38 - Zonamerica	00-Plaza Independencia	37,334	98,31	22,79	Biarticulados	14	4,29	2800	23	523	0%
Total							26	2,31	5.200	46	1.010	

Fuente: Elaboración propia.

La oferta cae de 5.200 a 2.400 plazas/hora en el tramo final del centro.

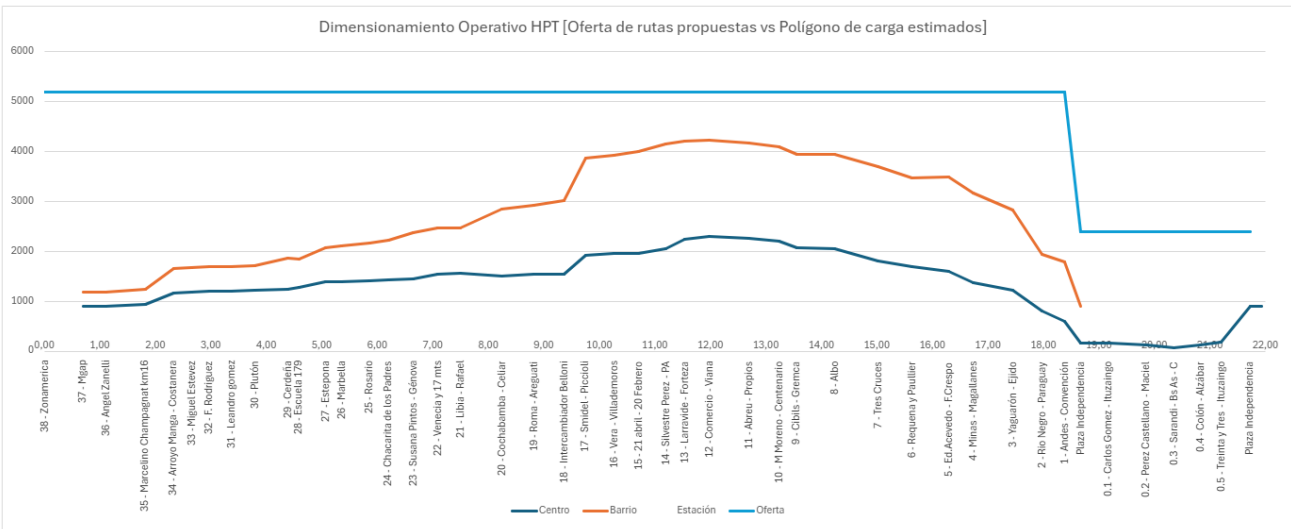


Figura 105. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 1 HPT. Fuente: Elaboración propia.

La ocupación máxima se mantiene en 81% en el tramo crítico de salida del barrio, validando que la menor oferta en Ciudad Vieja no afecta la capacidad aguas abajo.

Este escenario resulta en pocos cambios en la distribución del nivel de servicio:



Tabla 31. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 1 HPT.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	2.699	256	3%	0%	4%	43%
2	40%	21.772	9.738	27%	12%	39%	
3	60%	4.608	13.103	6%	16%	22%	49%
4	80%	0	22.190	0%	28%	28%	
5	100%	0	6.305	0%	8%	8%	8%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.

10.4.3. Escenario 2

El Escenario 2 combina el retorno central con la introducción de un servicio corto desde la periferia (Libia), "esculpiendo" la oferta según la demanda geográfica.

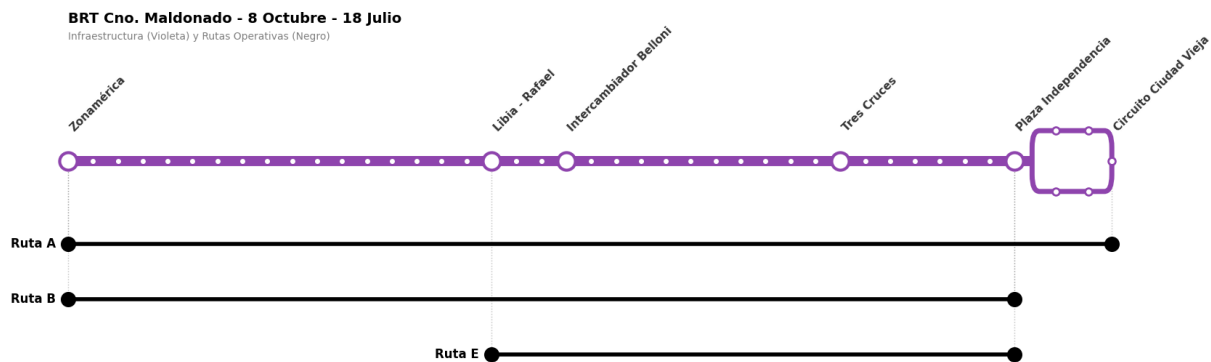


Figura 106. Diagrama de Rutas - Escenario 2 HPT. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado, el sistema opera con una flota optimizada de 41 vehículos y un recorrido de ciclo de 860 km.

Tabla 32. Diseño operativo por ruta - Escenario 2 HPT.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehículo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamerica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	12	5,00	2400	23	487	0%
B	38 - Zonamerica	00-Plaza Independencia	37,334	98,31	22,79	Biarticulados	4	15,00	800	7	149	0%
E	21 - Libia - Rafael	00-Plaza Independencia	22,360	60,43	22,20	Biarticulados	10	6,00	2000	11	224	0%
Total							26	2,31	5.200	41	860	

Fuente: Elaboración propia.

Esta configuración genera un escalonamiento de la capacidad en la estación Libia, mitigando la sobreoferta en la periferia lejana.



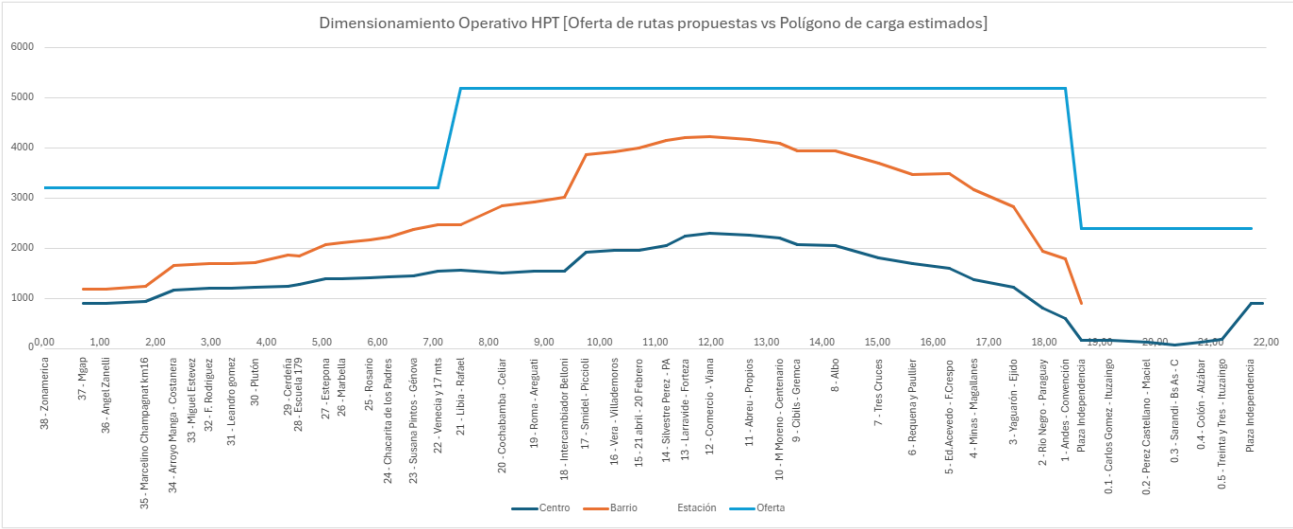


Figura 107. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 2 HPT. Fuente: Elaboración propia.

La inyección en Libia contiene eficazmente la saturación. La ocupación pico es del 81%, idéntica a los escenarios con más flota. La distribución de la carga refleja un sistema equilibrado, con reducción de la ociosidad, donde la segmentación de la oferta preserva la calidad en los tramos críticos sin aumentar los índices de alta ocupación:

Tabla 33. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 2 HPT.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	1.049	256	1%	0%	2%	30%
2	40%	19.186	3.940	24%	5%	29%	
3	60%	8.844	12.284	11%	15%	26%	62%
4	80%	0	28.808	0%	36%	36%	
5	100%	0	6.305	0%	8%	8%	8%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.

10.4.4. Escenario 3

El Escenario 3 introduce un corte estratégico en el destino (Tres Cruces) además de la inyección en Libia.

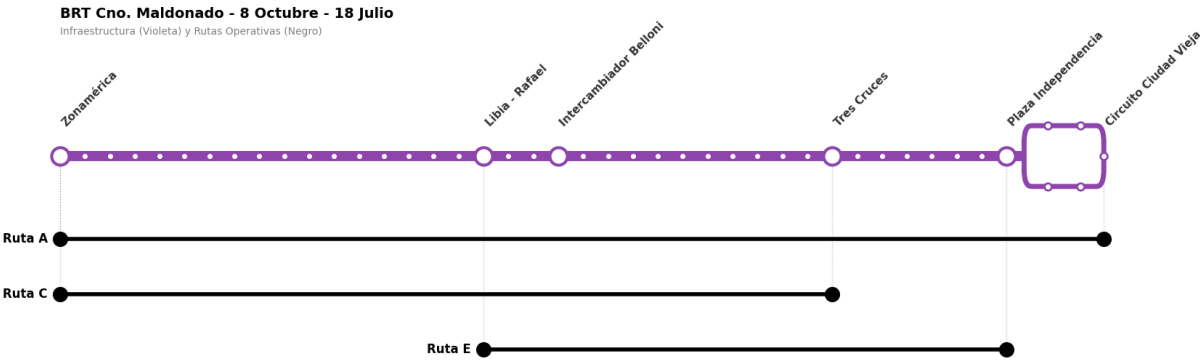


Figura 108. Diagrama de Rutas - Escenario 3 HPT. Fuente: Elaboración propia.



Es la opción más eficiente con 40 vehículos y 836 km de ciclo.

Tabla 34. Diseño operativo por ruta - Escenario 3 HPT.

Rutas	Origen (Barrio)	Destino (centro)	Distancia vuelta [km]	Tiempo de ciclo [min]	Velocidad comercial [km/hr]	Vehículo	Frecuencia [buses / hr]	Intervalo [min]	Oferta	Flota operativa	Km Recorrido	Regularidad (%)
A	38 - Zonamerica	-1 - Ciudad Vieja	40,592	113,39	21,48	Biarticulados	12	5,00	2400	23	487	0%
C	38 - Zonamerica	07 - Tres Cruces	31,260	86,58	21,66	Biarticulados	4	15,00	800	6	125	0%
E	21 - Libia - Rafael	00-Plaza Independencia	22,360	60,43	22,20	Biarticulados	10	6,00	2000	11	224	0%
Total							26	2,31	5.200	40	836	

Fuente: Elaboración propia.

La curva de oferta es escalonada en ambos extremos, liberando recursos cuando la ocupación baja.

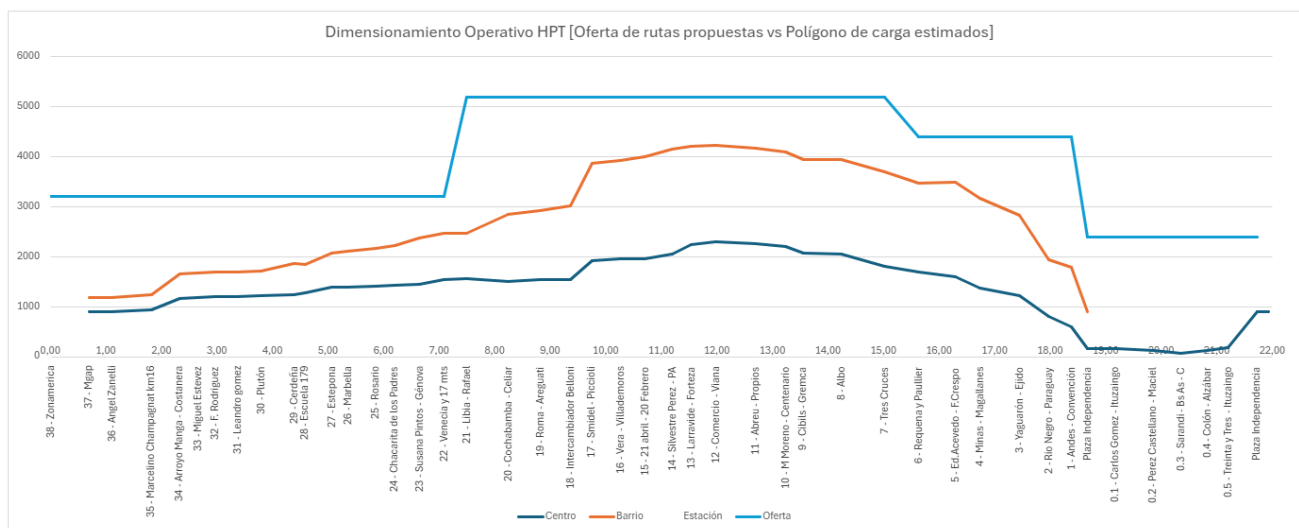


Figura 109. Gráfico de Dimensionamiento Operativo y Rutas - Escenario 3 HPT. Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de ocupación máximo alcanza un pico del 81% en el sector crítico, situándose por debajo del umbral de diseño del 85%.

Los resultados validan la robustez de la solución, demostrando que es posible maximizar la eficiencia operativa sin degradar la calidad percibida:

Tabla 35. Distribución de Pax*km por Nivel de Ocupación - Escenario 3 HPT.

Nivel de Ocupación	Hasta	Pax*km Centro	Pax*km Barrio	% Pax*km Totales - Centro	% Pax*km Totales - Barrio	% Pax*km Totales	% Pax*km Totales
1	20%	1.049	0	1%	0%	1%	28%
2	40%	19.186	2.440	24%	3%	27%	
3	60%	8.844	12.011	11%	15%	26%	64%
4	80%	0	30.836	0%	38%	38%	
5	100%	0	6.305	0%	8%	8%	8%
6	120%	0	0	0%	0%	0%	

Fuente: Elaboración propia.



10.5. Resumen Comparativo

El análisis comparativo de los escenarios revela una clara tensión (trade-off) entre la eficiencia económica y la calidad del servicio. Si bien la optimización de la oferta permite reducir la flota y los costos operativos, conlleva intrínsecamente un aumento en la cantidad de servicio ofrecido a altos niveles de ocupación de pasajeros a bordo.

La siguiente tabla consolida los indicadores operativos clave, evidenciando la reducción de recursos lograda en cada etapa:

Tabla 36. Resumen Comparativo.

Escenario	Flota Total (HPM/HPT)	Ahorro de Flota (vs Base)	Porcentaje de la demanda en alta ocupación (>80%)		Observación
			HPM	HPT	
0	50	-	2%	8%	Alto NDS, mayor ociosidad.
1	46	- 8%	2%	8%	Ahorros operacionales marginales pero sin impacto notable en el NDS.
2	41 - 42	- 16%	7%	8%	Ahorros operacionales moderados, con pérdida del NDS en la HPM.
3	40	- 20%	15%	8%	Mayores ahorros operacionales, con impacto considerable de empeorar el NDS en la HPM.

Fuente: Elaboración propia.



11. Análisis de Saturación de Pasajeros en Estaciones

Este capítulo presenta la evaluación técnica de la capacidad de las estaciones del sistema BRT, enfocándose en la verificación del nivel de servicio en las áreas de plataforma y de circulación para acomodar la demanda proyectada de pasajeros.

El análisis se basa en los parámetros del Highway Capacity Manual (HCM)⁹ y del Manual de Planificación de BRT (ITDP)¹⁰, que establecen métricas de confort y seguridad tanto para los usuarios que esperan el embarque como para aquellos en desplazamiento dentro de la estación. La evaluación busca estimar el status de saturación para que los niveles de densidad y flujo de pasajeros permanezcan dentro de límites aceptables, preservando la seguridad operativa y la calidad del servicio ofrecido, e identificar situaciones que requieran una revisión del diseño de las paradas.

11.1. Premisas

La metodología de evaluación se divide en dos vertientes principales: el análisis del comportamiento estático de las personas, referente a la acumulación de pasajeros en las áreas de espera, y el análisis del comportamiento dinámico de los flujos de personas, referente al flujo de pasajeros en circulación en los pasillos y accesos.

Para los usuarios que aguardan el embarque en las plataformas (situación estática), la métrica original de desempeño que establece el HCM (Figura 110) basada en el concepto de Módulo Espacial (m^2/pax), que identifica rangos de área por persona, fue convertida a Densidad de Pasajeros (pax/m^2), que representa el inverso matemático del área disponible. La clasificación de Nivel de Servicio (NS) sigue una escala de categorías típicamente utilizada en la planificación y evaluación de sistemas de transporte (Tabla 37):

Tabla 37. Nivel de Servicio para Pasajeros en Espera.

NDS	Módulo Espacial (m^2/pax)	Densidad de Pasajeros (pax/m^2)
A	$> 1,20$	$0,00 \sim 0,83$
B	$0,90 \sim 1,20$	$0,83 \sim 1,11$
C	$0,60 \sim 0,90$	$1,11 \sim 1,67$
D	$0,30 \sim 0,60$	$1,67 \sim 3,33$
E	$0,20 \sim 0,30$	$3,33 \sim 5,00$
F	$0,00 \sim 0,20$	$> 5,00$

Fuente: Elaboración propia a partir de parámetros del HCM 2000.

⁹ TRB (Transportation Research Board). Highway Capacity Manual 2000. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2000.

¹⁰ ITDP - Instituto de Políticas de Transporte y Desarrollo. Guía de Planificación de Sistemas BRT. 2010. Disponible en: <https://itdp.org/publication/guia-de-planificacion-de-sistemas-brt/>

ITDP - Instituto de Políticas de Transporte y Desarrollo. The Online BRT Planning Guide. Disponible en: <https://brtguide.itdp.org/branch/master/guide/>



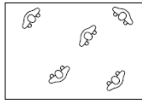





<p>LOS A <i>Average Pedestrian Space</i> > 1.2 m²/p Standing and free circulation through the queuing area is possible without disturbing others within the queue.</p>	
<p>LOS B <i>Average Pedestrian Space</i> > 0.9–1.2 m²/p Standing and partially restricted circulation to avoid disturbing others in the queue is possible.</p>	
<p>LOS C <i>Average Pedestrian Space</i> > 0.6–0.9 m²/p Standing and restricted circulation through the queuing area by disturbing others in the queue is possible; this density is within the range of personal comfort.</p>	
<p>LOS D <i>Average Pedestrian Space</i> > 0.3–0.6 m²/p Standing without touching is possible; circulation is severely restricted within the queue and forward movement is only possible as a group; long-term waiting at this density is uncomfortable.</p>	
<p>LOS E <i>Average Pedestrian Space</i> > 0.2–0.3 m²/p Standing in physical contact with others is unavoidable; circulation in the queue is not possible; queuing can only be sustained for a short period without serious discomfort.</p>	
<p>LOS F <i>Average Pedestrian Space</i> ≤ 0.2 m²/p Virtually all persons within the queue are standing in direct physical contact with others; this density is extremely uncomfortable; no movement is possible in the queue; there is potential for panic in large crowds at this density.</p>	

Figura 110. Niveles de servicio de persona en áreas de espera. Fuente: Highway Capacity Manual 2000.

Simultáneamente, es imprescindible evaluar la dinámica de pasajeros en circulación (flujo de caminata). Para este análisis, se utilizan dos transformaciones de unidades fundamentales para caracterizar el flujo. Primero, la relación espacial: para mantener una velocidad de caminata normal, un peatón necesita un espacio significativamente mayor que cuando está parado. La Tabla 38 muestra las categorías de requisito de espacio y su equivalente en densidad de personas, establecidas en el HCM:

Tabla 38. Nivel de Servicio Densidad de Pasajeros en Circulación.

NDS	Módulo Espacial (m ² /pax)	Densidad de Pasajeros (pax/ m ²)
A	> 5,60	0,00 ~ 0,18
B	3,70 ~ 5,60	0,18 ~ 0,27
C	2,20 ~ 3,70	0,27 ~ 0,45
D	1,40 ~ 2,20	0,45 ~ 0,71
E	0,75 ~ 1,40	0,71 ~ 1,33
F	0,00 ~ 0,75	> 1,33

Fuente: Elaboración propia a partir de parámetros del HCM 2000.

Además de la densidad, la circulación se mide por el Flujo Específico, que cuantifica la intensidad de pasajeros atravesando una sección de ancho conocido. Originalmente calculada en pasajeros por minuto por metro de ancho (pax/min/m) (Figura 111), esta métrica se presenta en este informe convertida a una escala horaria (pax/h/m) multiplicando el valor base por 60 minutos (Tabla 39):



Tabla 39. Nivel de Servicio Flujo de Pasajeros en Circulación.

NDS	Flujo (pax/min/m)	Flujo (pax/hr/m)
A	0 ~ 16	0 ~ 960
B	16 ~ 23	960 ~ 1.380
C	23 ~ 33	1.380 ~ 1.980
D	33 ~ 49	1.980 ~ 2.940
E	49 ~ 75	2.940 ~ 4.500
F	> 75	> 4.500

Fuente: Elaboración propia a partir de parámetros del HCM 2000.

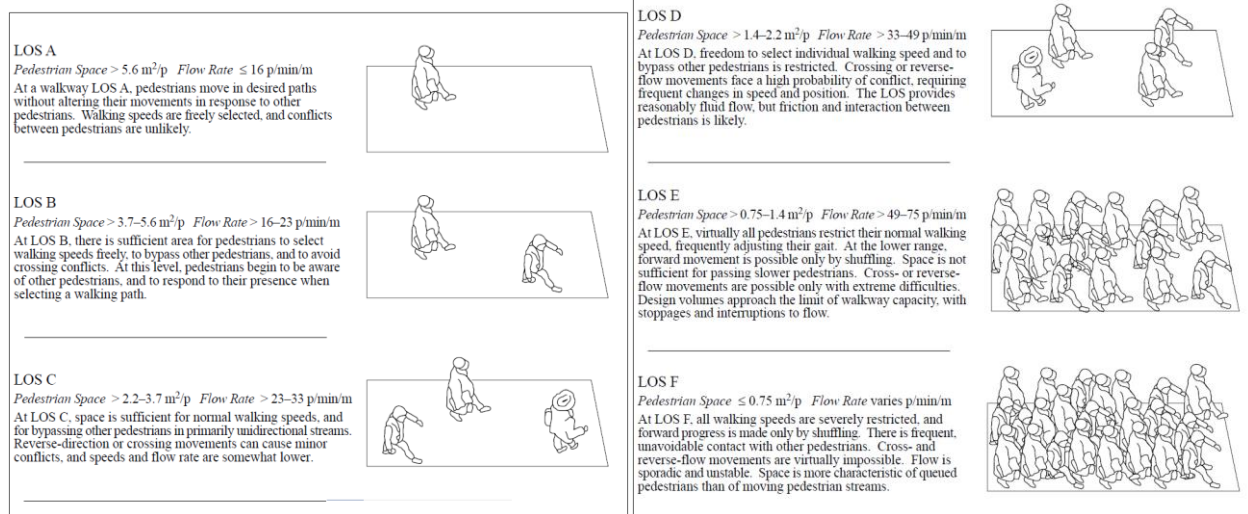


Figura 111. Niveles de servicio de flujos peatonales. Fuente: Highway Capacity Manual 2000.

Para la determinación específica de la capacidad de las áreas de espera (plataformas) presentada en los resultados de este informe, se requieren las dimensiones de diseño de la extensión de la plataforma utilizada potencialmente como área de espera de pasajeros. Ese perímetro cual está asociado directamente a la ubicación de las puertas de acceso a los vehículos, que es el área en donde naturalmente las personas aguardan en la plataforma para embarcar en el ómnibus que está por arribar.

El abordaje planteado en la Guía de Planificación de Sistemas BRT del ITDP para el diseño de estaciones sirve como punto de partida para el presente análisis. La Figura 112 ilustra esquemáticamente la lógica de utilización de estaciones BRT, en las que el ancho de la plataforma se comparte entre dos funciones. El perímetro cercano a las puertas para abordar los vehículos tiene que lograr atender la función de área de espera, en tamaño suficiente para la demanda prevista. Y el resto del ancho debe permitir la circulación de los pasajeros entrando y saliendo de la estación o parada. El ancho libre para utilización en las paradas, según el diseño previsto actualmente en el Estudio de Prefactibilidad, es de 3,20 metros. Ese ancho debe ser evaluado en la situación más crítica, que es, para cada estación, el sentido más cargado de demanda de ascensos en combinación con el flujo de descensos, tanto en la Hora Pico Mañana (HPM) como en la Hora Pico Tarde (HPT).



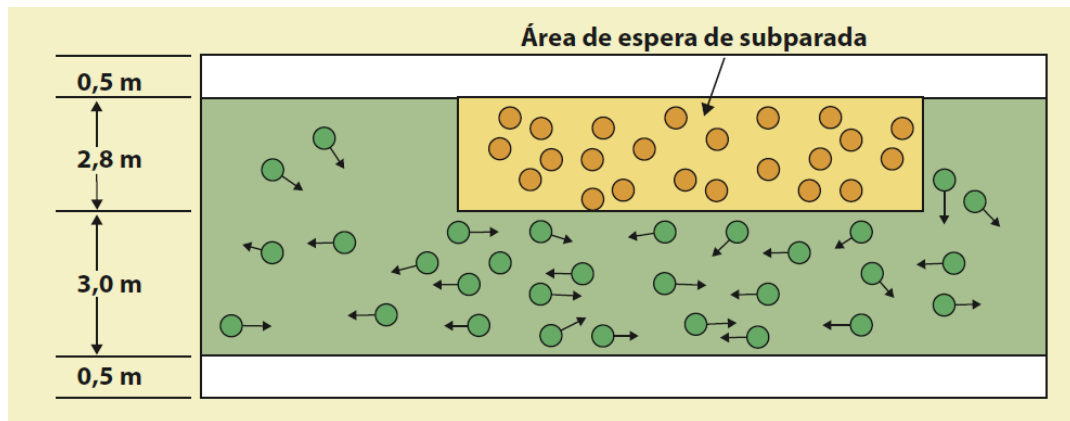


Figura 112. Ejemplo esquemático de espera y circulación de pasajeros en estaciones. Fuente: Guía de Planificación de Sistemas BRT (ITDP).

La planilla de cálculo utilizada opera con una lógica condicional de dos escenarios de cálculo distintos y complementarios, uno conservador y otro realista, fundamentado en la variación de la extensión útil de la plataforma según el nivel de demanda existente.

La primera etapa es el Escenario Conservador. En esta etapa inicial, se asume una premisa más rígida donde los pasajeros se concentran exclusivamente en las áreas de proyección de las puertas de los vehículos, sumadas a un margen mínimo. Para el diseño actual de los vehículos y estaciones, este cálculo considera una extensión útil lineal total de 11,2 metros (referente solo a la suma de los anchos de las puertas más 50 cm de margen operativo en torno de cada puerta), como ilustrado en la Figura 113. El área útil resultante es el producto de esta extensión por la profundidad de la plataforma. Si el Nivel de Servicio resultante calculado bajo esta configuración restringida es A o B, con baja densidad de personas en espera, se asume que el escenario representa adecuadamente el comportamiento de acumulo de pasajeros exclusivamente en los perímetros cercanos a las puertas.

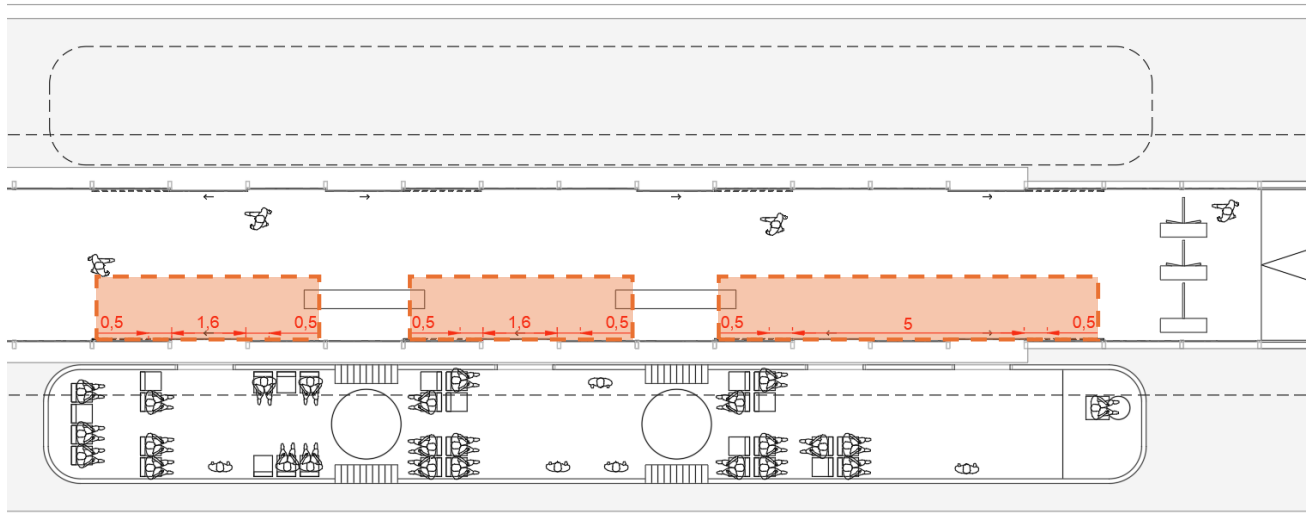


Figura 113. Detalle esquemático del Escenario Conservador, destacando la extensión útil de 11,2 m. Fuente: Elaboración propia.

Si el cálculo conservador indica un Nivel de Servicio C, D, E o F, esto significa que la densidad de pasajeros promoverá la dispersión de las personas en el resto del área potencial de espera, representado por el Escenario Realista. Este enfoque considera el comportamiento natural de los usuarios en horarios de mayor demanda, donde la densificación fuerza la ocupación de los espacios "intersticiales" de la plataforma. En este escenario, la extensión



útil lineal considerada para el cálculo salta a un total de 19,5 metros, ya que pasa a englobar la suma de las puertas y las distancias entre ejes, como ilustrado en la Figura 114. El recálculo del área total disponible con esta nueva extensión diluye la densidad de pasajeros.

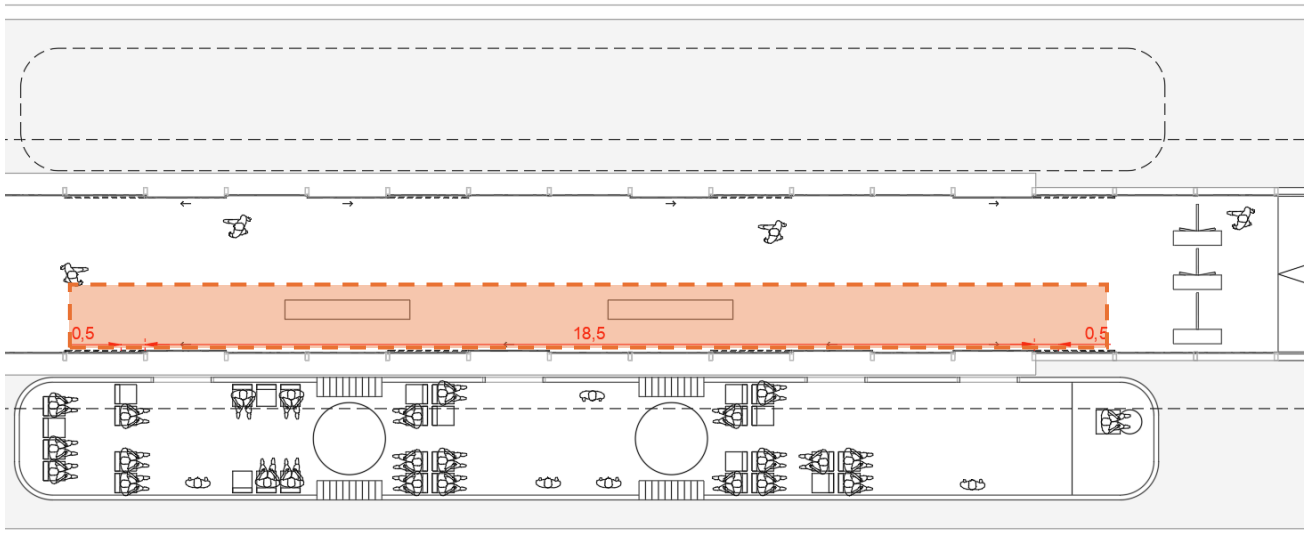


Figura 114. Detalle esquemático del Escenario Realista, evidenciando la extensión útil expandida a 19,5 m. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que están previstas dos configuraciones patrón de estaciones:

- Una con parada simple con lugar para únicamente un ómnibus biarticulado realizando operación de ascenso/descenso por sentido, prevista principalmente para el tramo de Av. 8 de Octubre en superficie (Figura 115).
- Otra con parada doble, con lugar para dos ómnibus biarticulado realizando simultáneamente operación de ascenso/descenso por sentido, prevista para el tramo de Av. 18 de Julio soterrado (Figura 116).

El presente análisis asume, para efectos de una evaluación conservadora, que la operación de ascenso/descenso ocurre con un único vehículo por vez. Representa la situación prevista para las paradas simples, pero corresponde a una situación más exigente que la operación real para las paradas dobles, ya que la posibilidad de que un segundo vehículo abra las puertas para embarque y desembarque de pasajeros simultáneamente al vehículo que está parado en la primera posición de adelante reduce las demoras y por lo tanto puede reducir la saturación en las plataformas.

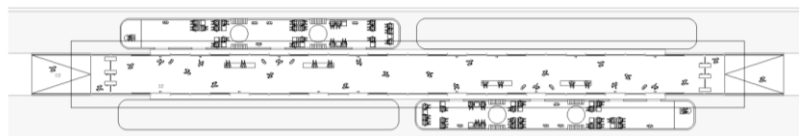


Figura 115. Layout de las paradas simples (Av. 8 de Octubre – en superficie). Fuente: FADU, 2025.

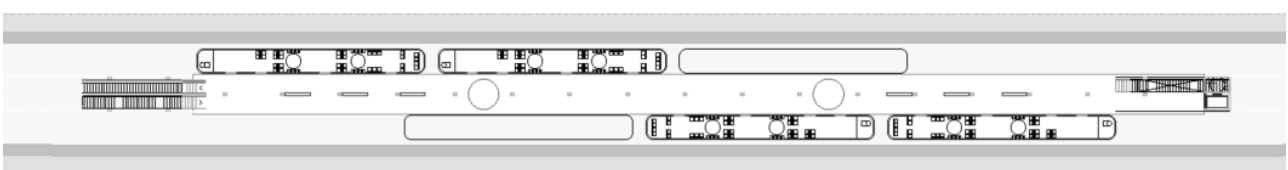


Figura 116. Layout de las paradas dobles (Av. 18 de Julio - soterradas). Fuente: FADU, 2025.



Respecto a la demanda de referencia para el análisis de saturación de pasajeros, se utilizaron los resultados de simulación presentados en el capítulo 9, los mismos que sirvieron de base para la evaluación de servicios troncales en el capítulo 10. Las figuras a continuación muestran el número de ascensos y descensos estimados para cada sentido para la Hora Pico Mañana (Figura 117) y para la Hora Pico Tarde (Figura 118).

Para cada periodo del día se analizaron dos escenarios de oferta:

- El **Escenario 0**, con un único servicio entre Zonamerica y Ciudad Vieja, con el mayor nivel de oferta en los distintos tramos del corredor, lo cual representa la situación más favorable del punto de vista de los pasajeros.
- El **Escenario 3**, con tres servicios troncales distintos, con la oferta más optimizada, reduciendo la capacidad en diversos tramos del corredor, lo cual representa la situación menos favorable del punto de vista de los pasajeros.

Finalmente, también se llevó en consideración en el análisis el efecto de la variación en la regularidad de los intervalos del servicio troncal. En una operación con intervalos uniformes, la demanda se distribuye homogéneamente entre cada ómnibus (asumiendo que la tasa de llegada en la parada no varía significativamente). Pero cuando un ómnibus demora más que el intervalo previsto, existe un acumulo adicional de pasajeros esperando en la plataforma que, aunque no sea una situación permanente, es prudente evaluar el efecto puntual de esos momentos de mayor densidad de personas aguardando el próximo vehículo en la estación. Así, para cada Escenario en cada periodo del día, se evaluaron tres niveles de regularidad del servicio:

- **Alta Regularidad:** intervalos perfectamente uniformes.
- **Mediana Regularidad:** 25% de demora en un intervalo.
- **Baja Regularidad:** 50% de demora en un intervalo.



HPM	Centro		Barrio	
Estación	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos
38 - Zonamerica	1361	0	0	1334
37 - Mgap	3	1	0	1
36 - Angel Zanelli	52	4	3	43
35 - Marcelino Champagnat km 16	621	8	65	296
34 - Arroyo Manga - Costanera	13	0	1	4
33 - Miguel Estevez	20	1	2	1
32 - F. Rodriguez	6	0	0	3
31 - Leandro gomez	14	4	4	22
30 - Plutón	53	10	13	111
29 - Cerdeña	126	0	26	0
28 - Escuela 179	393	22	81	130
27 - Estepona	58	4	16	33
26 - Marbella	58	4	15	14
25 - Rosario	91	5	16	36
24 - Chacarita de los Padres	104	4	21	57
23 - Susana Pintos - Génova	220	12	29	150
22 - Venecia y 17 mts	92	54	24	131
21 - Libia - Rafael	169	98	81	226
20 - Cochabamba - Celiar	132	18	39	138
19 - Roma - Areguati	64	31	79	49
18 - Intercambiador Belloni	757	154	342	309
17 - Smidel - Piccioli	170	40	72	52
16 - Vera - Villademoros	14	41	23	28
15 - 21 abril - 20 Febrero	191	133	69	58
14 - Silvestre Perez - PA	428	264	83	88
13 - Larravide - Forteza	94	268	148	31
12 - Comercio - Viana	116	245	148	35
11 - Abreu - Propios	77	282	199	8
10 - M Moreno - Centenario	326	333	401	26
9 - Cibils - Gremca	18	35	49	6
8 - Albo	451	184	389	1
7 - Tres Cruces	499	372	156	10
6 - Requena y Paullier	20	108	10	0
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	10	221	196	0
4 - Minas - Magallanes	4	217	143	0
3 - Yaguarón - Ejido	0	582	214	0
2 - Rio Negro - Paraguay	0	698	40	0
1 - Andes - Convención	2	1034	215	0
Plaza Independencia	-	-		
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0	414		
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0	376		
0.3 - Sarandi - Bs As - C	7	546		
0.4 - Colón - Alzábar	16	1		
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0	0		
Plaza Independencia	-	-		

Figura 117. Demanda Hora Pico Mañana. Fuente: Elaboración propia.



HPT	Centro		Barrio	
Estación	Ascensos	Descensos	Ascensos	Descensos
38 - Zonamerica	895	0	0	1185
37 - Mgap	6	0	1	5
36 - Angel Zanelli	32	1	2	47
35 - Marcelino Champagnat km 16	259	16	21	444
34 - Arroyo Manga - Costanera	8	0	1	14
33 - Miguel Estevez	23	2	5	22
32 - F. Rodriguez	8	1	2	17
31 - Leandro gomez	23	2	6	18
30 - Plutón	36	17	11	156
29 - Cerdeña	27	0	12	0
28 - Escuela 179	138	32	43	271
27 - Estepona	24	6	7	50
26 - Marbella	22	8	7	56
25 - Rosario	26	8	8	69
24 - Chacarita de los Padres	32	21	9	160
23 - Susana Pintos - Génova	107	10	26	110
22 - Venecia y 17 mts	40	14	41	55
21 - Libia - Rafael	47	103	44	410
20 - Cochabamba - Celiar	44	18	29	116
19 - Roma - Areguati	23	23	44	133
18 - Intercambiador Belloni	521	138	240	1088
17 - Smidel - Piccioli	89	59	33	95
16 - Vera - Villademoros	25	22	21	88
15 - 21 abril - 20 Febrero	131	31	63	219
14 - Silvestre Perez - PA	220	36	162	228
13 - Larravide - Forteza	141	72	192	200
12 - Comercio - Viana	113	160	258	209
11 - Abreu - Propios	77	134	236	148
10 - M Moreno - Centenario	93	219	365	216
9 - Cibils - Gremca	10	28	54	53
8 - Albo	24	282	301	65
7 - Tres Cruces	81	181	422	186
6 - Requena y Paullier	16	120	11	42
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	5	220	383	47
4 - Minas - Magallanes	3	158	346	5
3 - Yaguarón - Ejido	2	424	878	0
2 - Rio Negro - Paraguay	0	197	155	0
1 - Andes - Convención	4	442	890	0
Plaza Independencia	-	-		
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0	51		
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0	48		
0.3 - Sarandi - Bs As - C	123	73		
0.4 - Colón - Alzábar	62	0		
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	716	1		
Plaza Independencia	-	-		

Figura 118. Demanda Hora Pico Tarde. Fuente: Elaboración propia.



11.2. HPM – Escenario 0 (situación más favorable)

En el Escenario 0 para la HPM, considerando inicialmente una regularidad alta con intervalos totalmente uniformes, con la oferta prevista en todo el corredor el nivel de servicio para los pasajeros es “A” en prácticamente todo el sistema, excepto en la cabecera de Zonamérica. Esto, sin embargo, se debe a que el análisis tomó como referencia el ancho estándar de 3,20m, sin embargo esa parada final deberá ser diseñada como una terminal y no como una estación simple. Por lo tanto ese resultado debe ser interpretado básicamente como un indicativo de que las dimensiones del terminal Zonamérica tienen que ser definidas compatibles con la demanda concentrada de pasajeros oriundos de las líneas alimentadoras que se integran en esa cabecera.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m ²)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada (pax/m/min)		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	1,93	1,11	D	B	28,42	28,42	C	C
37 - Mgap	0,00	0,00	A	A	0,06	0,06	A	A
36 - Angel Zanelli	0,07	0,04	A	A	1,07	1,07	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,77	0,44	A	A	11,38	11,38	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,23	0,23	A	A
33 - Miguel Estevez	0,02	0,01	A	A	0,33	0,33	A	A
32 - F. Rodriguez	0,01	0,00	A	A	0,11	0,11	A	A
31 - Leandro gomez	0,02	0,01	A	A	0,36	0,36	A	A
30 - Plutón	0,10	0,06	A	A	1,47	1,47	A	A
29 - Cerdeña	0,14	0,08	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,48	0,27	A	A	6,99	6,99	A	A
27 - Estepona	0,08	0,04	A	A	1,11	1,11	A	A
26 - Marbella	0,07	0,04	A	A	1,01	1,01	A	A
25 - Rosario	0,11	0,06	A	A	1,65	1,65	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,13	0,08	A	A	1,96	1,96	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,29	0,17	A	A	4,31	4,31	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,16	0,09	A	A	2,41	2,41	A	A
21 - Libia - Rafael	0,30	0,17	A	A	4,35	4,35	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,20	0,11	A	A	2,89	2,89	A	A
19 - Roma - Areguati	0,11	0,06	A	A	1,66	1,66	A	A
18 - Intercambiador Belloni	0,98	0,56	B	A	14,35	14,35	A	A
17 - Smidel - Piccioli	0,22	0,12	A	A	3,16	3,16	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,05	0,03	A	A	0,72	0,72	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,27	0,16	A	A	4,01	4,01	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,58	0,34	A	A	8,59	8,59	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,26	0,15	A	A	3,89	3,89	A	A
12 - Comercio - Viana	0,26	0,15	A	A	3,79	3,79	A	A
11 - Abreu - Propios	0,32	0,18	A	A	4,65	4,65	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,56	0,32	A	A	8,20	8,20	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,07	0,04	A	A	0,99	0,99	A	A
8 - Albo	0,55	0,32	A	A	8,08	8,08	A	A
7 - Tres Cruces	0,67	0,39	A	A	9,86	9,86	A	A
6 - Requena y Pautlier	0,06	0,03	A	A	0,88	0,88	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,29	0,17	A	A	4,24	4,24	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,23	0,13	A	A	3,39	3,39	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	0,44	0,25	A	A	6,41	6,41	A	A
2 - Rio Negro - Paraguay	0,29	0,17	A	A	4,27	4,27	A	A
1 - Andes - Convención	0,60	0,34	A	A	8,78	8,78	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	2,16	2,16	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	1,96	1,96	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,20	0,12	A	A	2,95	2,95	A	A
0.4 - Colón - Alzabar	0,02	0,01	A	A	0,26	0,26	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 119. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPM – Regularidad: 0% de variación en los intervalos – Escenario 0 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



Considerando una regularidad mediana, con la incidencia de un intervalo 25% superior a lo previsto en la hora pico, empiezan a aparecer algunas situaciones puntuales en donde el nivel de servicio baja de "A" a "B" o a "C". Además de la situación excepcional ya mencionada de Zonamérica, en el Intercambiador Belloni el cálculo de NDS de pasajeros en espera por el criterio conservador baja a "C", pero calculado por el criterio realista, continua en "A". Ya el NDS de flujo de pasajeros en circulación, llega a "B".

Las dos últimas columnas de la tabla muestran el cálculo de flujo de pasajeros circulando sin el efecto de la regularidad del lado izquierdo y con el efecto de concentración por la regularidad del lado derecho. Es decir, la última columna a la derecha muestra una estimación conservadora, asumiendo que el efecto del aumento en un intervalo impacto de manera directamente proporcional en el flujo de paso de personas descendiendo de los buses en dirección a la salida de la estación. En este caso, el nivel de servicio es "B" en ambas situaciones, pero en el siguiente análisis con baja regularidad, el resultado entre ambos criterios difiere.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada (pax/m/min)		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	2,30	1,32	D	C	33,79	42,23	D	D
37 - Mgap	0,00	0,00	A	A	0,07	0,09	A	A
36 - Angel Zaneli	0,09	0,05	A	A	1,27	1,59	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,94	0,54	B	A	13,83	17,29	A	B
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,28	0,35	A	A
33 - Miguel Estevez	0,03	0,02	A	A	0,40	0,51	A	A
32 - F. Rodriguez	0,01	0,01	A	A	0,13	0,17	A	A
31 - Leandro gomez	0,03	0,02	A	A	0,41	0,51	A	A
30 - Plutón	0,11	0,07	A	A	1,68	2,09	A	A
29 - Cerdeña	0,17	0,10	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,58	0,33	A	A	8,54	10,68	A	A
27 - Estepona	0,09	0,05	A	A	1,34	1,67	A	A
26 - Marbella	0,08	0,05	A	A	1,24	1,55	A	A
25 - Rosario	0,14	0,08	A	A	2,01	2,51	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,16	0,09	A	A	2,37	2,96	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,35	0,20	A	A	5,18	6,48	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,19	0,11	A	A	2,78	3,47	A	A
21 - Libia - Rafael	0,34	0,20	A	A	5,02	6,28	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,23	0,13	A	A	3,42	4,27	A	A
19 - Roma - Areguati	0,13	0,08	A	A	1,97	2,47	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,18	0,68	C	A	17,34	21,67	B	B
17 - Smidel - Piccioli	0,26	0,15	A	A	3,83	4,79	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,06	0,03	A	A	0,81	1,02	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,32	0,19	A	A	4,76	5,95	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,70	0,40	A	A	10,27	12,84	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,30	0,17	A	A	4,48	5,59	A	A
12 - Comercio - Viana	0,30	0,17	A	A	4,38	5,47	A	A
11 - Abreu - Propios	0,37	0,21	A	A	5,43	6,79	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,67	0,38	A	A	9,78	12,22	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,08	0,05	A	A	1,18	1,47	A	A
8 - Albo	0,67	0,39	A	A	9,86	12,32	A	A
7 - Tres Cruces	0,80	0,46	A	A	11,83	14,79	A	A
6 - Requena y Paullier	0,07	0,04	A	A	0,96	1,20	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,34	0,20	A	A	5,02	6,27	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,27	0,15	A	A	3,95	4,94	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	0,49	0,28	A	A	7,25	9,06	A	A
2 - Rio Negro - Paraguay	0,30	0,17	A	A	4,42	5,53	A	A
1 - Andes - Convención	0,65	0,38	A	A	9,63	12,03	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	2,16	2,70	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	1,96	2,45	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,20	0,12	A	A	2,98	3,73	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,02	0,01	A	A	0,32	0,40	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 120. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPM – Regularidad: 25% de variación en los intervalos – Escenario 0 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



El análisis considerando el efecto de un intervalo 50% arriba del previsto hace con que dos paradas (Int. Belloni y Marcelino Champagnat (Km 16)) alcancen NDS "C" para pasajeros en circulación utilizando el cálculo conservador. También se identifican otras cuatro paradas que en ese aspecto llegan a NDS "B".

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada (pax/m/min)		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	2,66	1,53	D	C	39,15	58,73	D	E
37 - Mgap	0,01	0,00	A	A	0,08	0,12	A	A
36 - Angel Zanelli	0,10	0,06	A	A	1,48	2,21	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	1,11	0,64	B	A	16,28	24,42	B	C
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,33	0,49	A	A
33 - Miguel Estevez	0,03	0,02	A	A	0,48	0,73	A	A
32 - F. Rodriguez	0,01	0,01	A	A	0,16	0,24	A	A
31 - Leandro gomez	0,03	0,02	A	A	0,47	0,70	A	A
30 - Plutón	0,13	0,07	A	A	1,88	2,83	A	A
29 - Cerdeña	0,20	0,12	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,69	0,39	A	A	10,09	15,14	A	A
27 - Estepona	0,11	0,06	A	A	1,57	2,35	A	A
26 - Marbella	0,10	0,06	A	A	1,47	2,20	A	A
25 - Rosario	0,16	0,09	A	A	2,37	3,55	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,19	0,11	A	A	2,78	4,17	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,41	0,24	A	A	6,05	9,07	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,21	0,12	A	A	3,14	4,71	A	A
21 - Libia - Rafael	0,39	0,22	A	A	5,69	8,53	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,27	0,15	A	A	3,94	5,90	A	A
19 - Roma - Areguati	0,16	0,09	A	A	2,29	3,43	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,38	0,79	C	A	20,32	30,49	B	C
17 - Smidel - Piccioli	0,31	0,18	A	A	4,50	6,75	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,06	0,04	A	A	0,90	1,36	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,38	0,22	A	A	5,51	8,27	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,81	0,47	A	A	11,96	17,94	A	B
13 - Larravide - Forteza	0,34	0,20	A	A	5,06	7,59	A	A
12 - Comercio - Viana	0,34	0,19	A	A	4,96	7,44	A	A
11 - Abreu - Propios	0,42	0,24	A	A	6,22	9,33	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,77	0,44	A	A	11,36	17,04	A	B
9 - Cibils - Gremca	0,09	0,05	A	A	1,37	2,06	A	A
8 - Albo	0,79	0,45	A	A	11,64	17,45	A	B
7 - Tres Cruces	0,94	0,54	B	A	13,80	20,70	A	B
6 - Requena y Paullier	0,07	0,04	A	A	1,04	1,55	A	A
5 - Ed. Acevedo - F. Crespo	0,39	0,23	A	A	5,79	8,68	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,31	0,18	A	A	4,51	6,77	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	0,55	0,32	A	A	8,10	12,14	A	A
2 - Río Negro - Paraguay	0,31	0,18	A	A	4,58	6,87	A	A
1 - Andes - Convención	0,71	0,41	A	A	10,47	15,71	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	2,16	3,23	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	1,96	2,94	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,20	0,12	A	A	3,01	4,51	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,03	0,01	A	A	0,38	0,58	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 121. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPM – Regularidad: 50% de variación en los intervalos – Escenario 0 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



11.3. HPM – Escenario 3 (situación menos favorable)

El Escenario 3 de oferta es menos favorable del punto de vista del acumulo de pasajeros en estaciones. Con una operación con alta regularidad (intervalos uniformes), el resultado es prácticamente equivalente al Escenario 0.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	2,58	1,48	D	C	37,96	37,96	D	D
37 - Mgap	0,01	0,00	A	A	0,08	0,08	A	A
36 - Angel Zanelli	0,10	0,06	A	A	1,43	1,43	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	1,07	0,61	B	A	15,73	15,73	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,32	0,32	A	A
33 - Miguel Estevez	0,03	0,02	A	A	0,47	0,47	A	A
32 - F. Rodriguez	0,01	0,01	A	A	0,15	0,15	A	A
31 - Leandro gomez	0,03	0,02	A	A	0,45	0,45	A	A
30 - Plutón	0,13	0,07	A	A	1,84	1,84	A	A
29 - Cerdeña	0,20	0,11	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,66	0,38	A	A	9,75	9,75	A	A
27 - Estepona	0,10	0,06	A	A	1,51	1,51	A	A
26 - Marbella	0,10	0,06	A	A	1,42	1,42	A	A
25 - Rosario	0,16	0,09	A	A	2,29	2,29	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,18	0,11	A	A	2,69	2,69	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,40	0,23	A	A	5,86	5,86	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,21	0,12	A	A	3,06	3,06	A	A
21 - Libia - Rafael	0,30	0,17	A	A	4,35	4,35	A	A
20 - Cochabamba - Celar	0,20	0,11	A	A	2,89	2,89	A	A
19 - Roma - Areguati	0,11	0,06	A	A	1,66	1,66	A	A
18 - Intercambiador Belloni	0,98	0,56	B	A	14,35	14,35	A	A
17 - Smidel - Piccioli	0,22	0,12	A	A	3,16	3,16	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,05	0,03	A	A	0,72	0,72	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,27	0,16	A	A	4,01	4,01	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,58	0,34	A	A	8,59	8,59	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,26	0,15	A	A	3,89	3,89	A	A
12 - Comercio - Viana	0,26	0,15	A	A	3,79	3,79	A	A
11 - Abreu - Propios	0,32	0,18	A	A	4,65	4,65	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,56	0,32	A	A	8,20	8,20	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,07	0,04	A	A	0,99	0,99	A	A
8 - Albo	0,55	0,32	A	A	8,08	8,08	A	A
7 - Tres Cruces	0,67	0,39	A	A	9,86	9,86	A	A
6 - Requena y Paullier	0,06	0,04	A	A	0,94	0,94	A	A
5 - Ed. Acevedo - F. Crespo	0,33	0,19	A	A	4,81	4,81	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,26	0,15	A	A	3,80	3,80	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	0,48	0,27	A	A	7,02	7,02	A	A
2 - Río Negro - Paraguay	0,30	0,17	A	A	4,38	4,38	A	A
1 - Andes - Convención	0,64	0,37	A	A	9,39	9,39	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	2,16	2,16	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	1,96	1,96	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,22	0,13	A	A	3,20	3,20	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,06	0,03	A	A	0,83	0,83	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 122. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPM – Regularidad: 0% de variación en los intervalos – Escenario 3 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



Sin embargo, al incorporar 25% de demora en un intervalo, aunque el desempeño general está todo dentro de lo aceptable (en la mayoría, con NDS "A"), se empiezan a observar diferencias respecto al Escenario 0. La cabecera de Zonamérica llega a niveles de servicio "D" y "E", bajo la premisa del ancho estándar de las demás paradas. Y por otro lado son dos las estaciones que alcanzan nivel "C" de pasajeros en espera en el cálculo conservador, siendo que Marcelino Champagnat (Km 16) también alcanza NDS "C" en el análisis de flujo de pasajeros en circulación al considerar el efecto de la regularidad en el cálculo (columna de la derecha).

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	3,11	1,79	D	D	45,71	57,14	D	E
37 - Mgap	0,01	0,00	A	A	0,10	0,12	A	A
36 - Angel Zanelli	0,12	0,07	A	A	1,73	2,16	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	1,31	0,75	C	A	19,27	24,09	B	C
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,03	0,02	A	A	0,39	0,49	A	A
33 - Miguel Estevez	0,04	0,02	A	A	0,58	0,73	A	A
32 - F. Rodriguez	0,01	0,01	A	A	0,19	0,23	A	A
31 - Leandro gomez	0,04	0,02	A	A	0,53	0,67	A	A
30 - Plutón	0,15	0,08	A	A	2,14	2,67	A	A
29 - Cerdeña	0,24	0,14	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,82	0,47	A	A	11,99	14,98	A	A
27 - Estepona	0,13	0,07	A	A	1,84	2,31	A	A
26 - Marbella	0,12	0,07	A	A	1,75	2,18	A	A
25 - Rosario	0,19	0,11	A	A	2,81	3,51	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,22	0,13	A	A	3,28	4,10	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,48	0,28	A	A	7,11	8,89	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,24	0,14	A	A	3,58	4,48	A	A
21 - Libia - Rafael	0,34	0,20	A	A	5,02	6,28	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,23	0,13	A	A	3,42	4,27	A	A
19 - Roma - Areguati	0,13	0,08	A	A	1,97	2,47	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,18	0,68	C	A	17,34	21,67	B	B
17 - Smidel - Piccioli	0,26	0,15	A	A	3,83	4,79	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,06	0,03	A	A	0,81	1,02	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,32	0,19	A	A	4,76	5,95	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,70	0,40	A	A	10,27	12,84	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,30	0,17	A	A	4,48	5,59	A	A
12 - Comercio - Viana	0,30	0,17	A	A	4,38	5,47	A	A
11 - Abreu - Propios	0,37	0,21	A	A	5,43	6,79	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,67	0,38	A	A	9,78	12,22	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,08	0,05	A	A	1,18	1,47	A	A
8 - Albo	0,67	0,39	A	A	9,86	12,32	A	A
7 - Tres Cruces	0,80	0,46	A	A	11,83	14,79	A	A
6 - Requena y Paullier	0,07	0,04	A	A	1,03	1,29	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,39	0,22	A	A	5,72	7,15	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,30	0,17	A	A	4,46	5,58	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	0,55	0,31	A	A	8,02	10,02	A	A
2 - Rio Negro - Paraguay	0,31	0,18	A	A	4,57	5,71	A	A
1 - Andes - Convención	0,71	0,41	A	A	10,40	12,99	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	2,16	2,70	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	1,96	2,45	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,22	0,13	A	A	3,29	4,12	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,07	0,04	A	A	1,03	1,29	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 123. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPM – Regularidad: 25% de variación en los intervalos – Escenario 3 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



El análisis considerando baja regularidad, con un intervalo 50% arriba de lo previsto, eleva el impacto en las estaciones que mostraban mayor saturación. Zonamérica alcanza niveles de servicio muy bajos calculada con ancho de 3,20, con densidades de flujos de pasajeros circulando demasiado excesivos. También se observa una caída del NDS de pasajeros en circulación en la parada Marcelino Champagnat (Km 16) a la categoría “D” bajo el criterio conservador incorporando el potencial efecto de la demora en los flujos de salida.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	3,64	2,09	E	D	53,47	80,20	E	F
37 - Mgap	0,01	0,00	A	A	0,11	0,17	A	A
36 - Angel Zanelli	0,14	0,08	A	A	2,02	3,03	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	1,55	0,89	C	B	22,81	34,21	B	D
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,03	0,02	A	A	0,47	0,70	A	A
33 - Miguel Estevez	0,05	0,03	A	A	0,69	1,04	A	A
32 - F. Rodriguez	0,02	0,01	A	A	0,22	0,33	A	A
31 - Leandro gomez	0,04	0,02	A	A	0,61	0,92	A	A
30 - Plutón	0,17	0,10	A	A	2,44	3,66	A	A
29 - Cerdeña	0,29	0,17	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,97	0,56	B	A	14,22	21,34	A	B
27 - Estepona	0,15	0,08	A	A	2,18	3,26	A	A
26 - Marbella	0,14	0,08	A	A	2,08	3,11	A	A
25 - Rosario	0,23	0,13	A	A	3,32	4,99	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,26	0,15	A	A	3,87	5,81	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,57	0,33	A	A	8,36	12,54	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,28	0,16	A	A	4,11	6,16	A	A
21 - Libia - Rafael	0,39	0,22	A	A	5,69	8,53	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,27	0,15	A	A	3,94	5,90	A	A
19 - Roma - Areguati	0,16	0,09	A	A	2,29	3,43	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,38	0,79	C	A	20,32	30,49	B	C
17 - Smidel - Piccioli	0,31	0,18	A	A	4,50	6,75	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,06	0,04	A	A	0,90	1,36	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,38	0,22	A	A	5,51	8,27	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,81	0,47	A	A	11,96	17,94	A	B
13 - Larravide - Forteza	0,34	0,20	A	A	5,06	7,59	A	A
12 - Comercio - Viana	0,34	0,19	A	A	4,96	7,44	A	A
11 - Abreu - Propios	0,42	0,24	A	A	6,22	9,33	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,77	0,44	A	A	11,36	17,04	A	B
9 - Cibils - Gremca	0,09	0,05	A	A	1,37	2,06	A	A
8 - Albo	0,79	0,45	A	A	11,64	17,45	A	B
7 - Tres Cruces	0,94	0,54	B	A	13,80	20,70	A	B
6 - Requena y Paullier	0,08	0,04	A	A	1,12	1,68	A	A
5 - Ed. Acevedo - F. Crespo	0,45	0,26	A	A	6,63	9,95	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,35	0,20	A	A	5,13	7,69	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	0,61	0,35	A	A	9,02	13,52	A	A
2 - Rio Negro - Paraguay	0,32	0,19	A	A	4,75	7,13	A	A
1 - Andes - Convención	0,78	0,45	A	A	11,40	17,10	A	B
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	2,16	3,23	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	1,96	2,94	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,23	0,13	A	A	3,38	5,07	A	A
0.4 - Colón - Alzabar	0,08	0,05	A	A	1,24	1,85	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 124. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPM – Regularidad: 50% de variación en los intervalos – Escenario 3 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



11.4. HPT – Escenario 0 (situación más favorable)

Tal como en el periodo matutino, la mayoría de las paradas presentan nivel de servicio “A” en todos los escenarios y niveles de regularidad. Las paradas que muestran caída en el NDS en determinadas combinaciones del análisis, sin embargo son distintos en la Hora Pico de la Tarde. La cabecera de Zonamérica sigue siendo un punto de atención en todos los casos, pero en la situación menos crítica, representada por el Escenario 0 de servicios troncales y sin ninguna variación de regularidad de intervalos, se observa también un incremento en la saturación de pasajeros en espera en la primera parada de 18 de Julio, en Andes-Convención (cabe recordar que en el tramo soterrado de 18 de Julio las paradas son dobles y, por lo tanto, este resultado es conservador). Dado que es el pico vespertino con demanda de retorno a los hogares, es esperable que estaciones cercanas al centro sufran de mayor presión de uso. Asimismo, no alcanza niveles problemáticos, pues sólo baja a “C” en el cálculo conservador y se mantiene en NDS “A” calculado bajo el criterio realista. En el aspecto de ancho para circulación, llega únicamente a NDS “B”.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	1,38	0,79	C	A	20,29	20,29	B	B
37 - Mgap	0,01	0,00	A	A	0,12	0,12	A	A
36 - Angel Zaneli	0,05	0,03	A	A	0,75	0,75	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,44	0,25	A	A	6,48	6,48	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,01	0,01	A	A	0,20	0,20	A	A
33 - Miguel Estevez	0,03	0,02	A	A	0,49	0,49	A	A
32 - F. Rodriguez	0,01	0,01	A	A	0,22	0,22	A	A
31 - Leandro gomez	0,03	0,02	A	A	0,47	0,47	A	A
30 - Plutón	0,10	0,06	A	A	1,47	1,47	A	A
29 - Cerdeña	0,03	0,02	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,26	0,15	A	A	3,76	3,76	A	A
27 - Estepona	0,05	0,03	A	A	0,67	0,67	A	A
26 - Marbella	0,05	0,03	A	A	0,68	0,68	A	A
25 - Rosario	0,06	0,03	A	A	0,81	0,81	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,10	0,06	A	A	1,45	1,45	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,16	0,09	A	A	2,31	2,31	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,07	0,04	A	A	1,01	1,01	A	A
21 - Libia - Rafael	0,23	0,13	A	A	3,41	3,41	A	A
20 - Cochabamba - Celar	0,09	0,05	A	A	1,39	1,39	A	A
19 - Roma - Areguati	0,10	0,06	A	A	1,51	1,51	A	A
18 - Intercambiador Belloni	0,99	0,57	B	A	14,60	14,60	A	A
17 - Smidel - Piccioli	0,15	0,09	A	A	2,21	2,21	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,07	0,04	A	A	0,97	0,97	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,23	0,13	A	A	3,37	3,37	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,33	0,19	A	A	4,85	4,85	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,30	0,17	A	A	4,45	4,45	A	A
12 - Comercio - Viana	0,41	0,23	A	A	5,99	5,99	A	A
11 - Abreu - Propios	0,35	0,20	A	A	5,19	5,19	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,55	0,31	A	A	8,02	8,02	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,09	0,05	A	A	1,27	1,27	A	A
8 - Albo	0,45	0,26	A	A	6,56	6,56	A	A
7 - Tres Cruces	0,58	0,33	A	A	8,57	8,57	A	A
6 - Requena y Paullier	0,07	0,04	A	A	1,10	1,10	A	A
5 - Ed. Acevedo - F. Crespo	0,51	0,29	A	A	7,43	7,43	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,43	0,25	A	A	6,31	6,31	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	1,09	0,63	B	A	16,06	16,06	B	B
2 - Rio Negro - Paraguay	0,24	0,14	A	A	3,47	3,47	A	A
1 - Andes - Convención	1,11	0,64	C	A	16,34	16,34	B	B
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,27	0,27	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	0,25	0,25	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,16	0,09	A	A	2,32	2,32	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,07	0,04	A	A	0,00	0,00	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,77	0,44	A	A	11,30	11,30	A	A
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 125. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPT – Regularidad: 0% de variación en los intervalos – Escenario 0 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



Al incrementar la variabilidad de la operación de las troncales con 25% de aumento en un intervalo, también aparece saturación nivel “C” bajo el cálculo conservador de pasajeros en espera en el Intercambiador Belloni y en Yaguarón-Ejido, además de Andes-Convención. Pero todas permanecen en NDS “A” bajo el cálculo realista usando toda la extensión de plataforma entre puertas. Por otro lado, el ancho para circulación, calculado incorporando un potencial efecto de la regularidad en el flujo de salida, empieza a mostrar niveles de saturación mayores, aunque todavía con NDS aceptable “C”.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	1,62	0,93	C	B	23,82	29,78	C	C
37 - Mgap	0,01	0,01	A	A	0,14	0,18	A	A
36 - Angel Zanelli	0,06	0,03	A	A	0,88	1,10	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,51	0,29	A	A	7,50	9,38	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,23	0,29	A	A
33 - Miguel Estevez	0,04	0,02	A	A	0,58	0,72	A	A
32 - F. Rodriguez	0,02	0,01	A	A	0,25	0,31	A	A
31 - Leandro gomez	0,04	0,02	A	A	0,56	0,70	A	A
30 - Plutón	0,11	0,06	A	A	1,61	2,01	A	A
29 - Cerdeña	0,04	0,02	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,29	0,17	A	A	4,30	5,37	A	A
27 - Estepona	0,05	0,03	A	A	0,76	0,96	A	A
26 - Marbella	0,05	0,03	A	A	0,77	0,96	A	A
25 - Rosario	0,06	0,04	A	A	0,91	1,14	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,11	0,06	A	A	1,57	1,97	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,19	0,11	A	A	2,73	3,42	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,08	0,05	A	A	1,17	1,46	A	A
21 - Libia - Rafael	0,24	0,14	A	A	3,60	4,50	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,11	0,06	A	A	1,57	1,96	A	A
19 - Roma - Areguati	0,11	0,07	A	A	1,68	2,10	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,13	0,65	C	A	16,66	20,82	B	B
17 - Smidel - Piccioli	0,17	0,10	A	A	2,56	3,20	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,07	0,04	A	A	1,07	1,33	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,26	0,15	A	A	3,89	4,86	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,39	0,22	A	A	5,71	7,14	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,35	0,20	A	A	5,20	6,50	A	A
12 - Comercio - Viana	0,48	0,27	A	A	7,01	8,76	A	A
11 - Abreu - Propios	0,42	0,24	A	A	6,12	7,65	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,64	0,37	A	A	9,46	11,83	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,10	0,06	A	A	1,49	1,86	A	A
8 - Albo	0,53	0,30	A	A	7,74	9,68	A	A
7 - Tres Cruces	0,70	0,40	A	A	10,23	12,79	A	A
6 - Requena y Paultier	0,08	0,05	A	A	1,16	1,45	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,61	0,35	A	A	8,94	11,18	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,52	0,30	A	A	7,67	9,59	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	1,33	0,76	C	A	19,52	24,40	B	C
2 - Rio Negro - Paraguay	0,28	0,16	A	A	4,08	5,10	A	A
1 - Andes - Convención	1,35	0,78	C	A	19,85	24,82	B	C
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,27	0,33	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	0,25	0,31	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,19	0,11	A	A	2,81	3,51	A	A
0.4 - Cotón - Alzábar	0,08	0,05	A	A	0,00	0,00	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	0,96	0,55	B	A	14,12	17,66	A	B
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 126. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPT – Regularidad: 25% de variación en los intervalos – Escenario 0 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



Considerando regularidad baja, con la ocurrencia de eventuales intervalos 50% superiores al promedio durante la hora pico, las mismas 4 paradas (Zonamérica, Intercambiador Belloni, Yaguarón-Ejido y Andes-Convención) siguen siendo el foco de atención y aparece una más, en el circuito de Ciudad Vieja (Treinta y Tres-Ituzaingo). La diferencia respecto al análisis con intervalo 25% arriba del previsto es que con 50% las dos estaciones de 18 de Julio alcanzan nivel "D" para circulación de pasajeros calculado de forma conservadora incorporando potencial efecto de la regularidad. Y la parada de Treinta y Tres-Ituzaingo llega a NDS "C" en ambos aspectos (espera y circulación) en los cálculos conservadores, lo cual tampoco es crítico del punto de vista de saturación.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	1,86	1,07	D	B	27,35	41,03	C	D
37 - Mgap	0,01	0,01	A	A	0,17	0,25	A	A
36 - Angel Zanelli	0,07	0,04	A	A	1,01	1,51	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,58	0,33	A	A	8,52	12,79	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,26	0,39	A	A
33 - Miguel Estevez	0,05	0,03	A	A	0,67	1,00	A	A
32 - F. Rodriguez	0,02	0,01	A	A	0,28	0,42	A	A
31 - Leandro gomez	0,04	0,03	A	A	0,65	0,97	A	A
30 - Plutón	0,12	0,07	A	A	1,75	2,63	A	A
29 - Cerdeña	0,04	0,02	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,33	0,19	A	A	4,84	7,27	A	A
27 - Estepona	0,06	0,03	A	A	0,86	1,29	A	A
26 - Marbella	0,06	0,03	A	A	0,85	1,28	A	A
25 - Rosario	0,07	0,04	A	A	1,02	1,52	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,12	0,07	A	A	1,70	2,55	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,21	0,12	A	A	3,16	4,74	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,09	0,05	A	A	1,33	1,99	A	A
21 - Libia - Rafael	0,26	0,15	A	A	3,78	5,68	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,12	0,07	A	A	1,74	2,61	A	A
19 - Roma - Areguati	0,13	0,07	A	A	1,85	2,78	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,27	0,73	C	A	18,71	28,07	B	C
17 - Smidel - Piccioli	0,20	0,11	A	A	2,91	4,36	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,08	0,05	A	A	1,16	1,75	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,30	0,17	A	A	4,40	6,60	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,45	0,26	A	A	6,58	9,87	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,41	0,23	A	A	5,96	8,94	A	A
12 - Comercio - Viana	0,55	0,31	A	A	8,03	12,04	A	A
11 - Abreu - Propios	0,48	0,28	A	A	7,05	10,58	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,74	0,43	A	A	10,90	16,35	A	B
9 - Cibils - Gremca	0,12	0,07	A	A	1,70	2,55	A	A
8 - Albo	0,61	0,35	A	A	8,93	13,39	A	A
7 - Tres Cruces	0,81	0,46	A	A	11,90	17,85	A	B
6 - Requena y Paullier	0,08	0,05	A	A	1,22	1,83	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,71	0,41	A	A	10,45	15,68	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,61	0,35	A	A	9,04	13,55	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	1,56	0,90	C	B	22,98	34,48	B	D
2 - Rio Negro - Paraguay	0,32	0,18	A	A	4,69	7,04	A	A
1 - Andes - Convención	1,59	0,91	C	B	23,36	35,04	C	D
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,27	0,40	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	0,25	0,38	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,22	0,13	A	A	3,29	4,94	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,10	0,06	A	A	0,00	0,00	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	1,15	0,66	C	A	16,95	25,42	B	C
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 127. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPT – Regularidad: 50% de variación en los intervalos – Escenario 0 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



11.5. HPT – Escenario 3 (situación menos favorable)

El Escenario 3 en la Hora Pico Tarde se mostró como el más crítico de los cuatro análisis, ya que presenta las combinaciones más críticas de optimización de oferta con concentración de ascensos/descensos en las cinco paradas que ya se mostraron como puntos de atención en la HPT para el Escenario 0. Sin efectos de irregularidad de intervalos, la parada Treinta y Tres en la Ciudad Vieja alcanza nivel “C” (aquí también procede la aclaración que en el tramo soterrado de 18 de Julio las paradas son dobles y, por lo tanto, este resultado es conservador). Zonamérica, naturalmente, sigue presentando saturación más elevada al ser calculada preliminarmente con apenas 3,20m, insuficiente para una terminal de BRT.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada (pax/m/min)		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	1,98	1,14	D	C	29,11	29,11	C	C
37 - Mgap	0,01	0,01	A	A	0,18	0,18	A	A
36 - Angel Zanelli	0,07	0,04	A	A	1,07	1,07	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,61	0,35	A	A	9,04	9,04	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,28	0,28	A	A
33 - Miguel Estevez	0,05	0,03	A	A	0,71	0,71	A	A
32 - F. Rodriguez	0,02	0,01	A	A	0,30	0,30	A	A
31 - Leandro gomez	0,05	0,03	A	A	0,69	0,69	A	A
30 - Plutón	0,12	0,07	A	A	1,82	1,82	A	A
29 - Cerdeña	0,05	0,03	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,35	0,20	A	A	5,12	5,12	A	A
27 - Estepona	0,06	0,04	A	A	0,91	0,91	A	A
26 - Marbella	0,06	0,04	A	A	0,90	0,90	A	A
25 - Rosario	0,07	0,04	A	A	1,07	1,07	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,12	0,07	A	A	1,76	1,76	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,23	0,13	A	A	3,37	3,37	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,10	0,06	A	A	1,41	1,41	A	A
21 - Libia - Rafael	0,23	0,13	A	A	3,41	3,41	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,09	0,05	A	A	1,39	1,39	A	A
19 - Roma - Areguati	0,10	0,06	A	A	1,51	1,51	A	A
18 - Intercambiador Belloni	0,99	0,57	B	A	14,60	14,60	A	A
17 - Smidel - Piccioli	0,15	0,09	A	A	2,21	2,21	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,07	0,04	A	A	0,97	0,97	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,23	0,13	A	A	3,37	3,37	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,33	0,19	A	A	4,85	4,85	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,30	0,17	A	A	4,45	4,45	A	A
12 - Comercio - Viana	0,41	0,23	A	A	5,99	5,99	A	A
11 - Abreu - Propios	0,35	0,20	A	A	5,19	5,19	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,55	0,31	A	A	8,02	8,02	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,09	0,05	A	A	1,27	1,27	A	A
8 - Albo	0,45	0,26	A	A	6,56	6,56	A	A
7 - Tres Cruces	0,58	0,33	A	A	8,57	8,57	A	A
6 - Requena y Paullier	0,08	0,04	A	A	1,14	1,14	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,58	0,33	A	A	8,53	8,53	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,50	0,29	A	A	7,30	7,30	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	1,26	0,73	C	A	18,58	18,58	B	B
2 - Rio Negro - Paraguay	0,27	0,15	A	A	3,92	3,92	A	A
1 - Andes - Convención	1,29	0,74	C	A	18,89	18,89	B	B
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,27	0,27	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	0,25	0,25	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,31	0,18	A	A	4,58	4,58	A	A
0.4 - Colón - Alzabar	0,14	0,08	A	A	0,00	0,00	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	1,67	0,96	C	B	24,48	24,48	C	C
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 128. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPT – Regularidad: 0% de variación en los intervalos – Escenario 3 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



Con regularidad mediana, al incrementar en 25% eventuales intervalos en la HPT, la estación Int. Belloni también llega a nivel “C” para espera con el criterio conservador (pero se mantiene en “A” para el criterio realista), y Andes-Convención llega a “C” para la circulación de pasajeros. La parada Treinta y Tres en la Ciudad Vieja llega a nivel “C” en ambos análisis en los criterios más optimistas y al nivel “D” en los cálculos conservadores, tanto para espera como circulación.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m2)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada (pax/m/min)		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	2,37	1,36	D	C	34,85	43,56	D	D
37 - Mgap	0,01	0,01	A	A	0,22	0,27	A	A
36 - Angel Zanelli	0,09	0,05	A	A	1,28	1,59	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,73	0,42	A	A	10,70	13,37	A	A
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,02	0,01	A	A	0,33	0,41	A	A
33 - Miguel Estevez	0,06	0,03	A	A	0,86	1,08	A	A
32 - F. Rodriguez	0,02	0,01	A	A	0,35	0,44	A	A
31 - Leandro gomez	0,06	0,03	A	A	0,84	1,05	A	A
30 - Plutón	0,14	0,08	A	A	2,05	2,57	A	A
29 - Cerdeña	0,06	0,03	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,41	0,23	A	A	6,00	7,50	A	A
27 - Estepona	0,07	0,04	A	A	1,06	1,33	A	A
26 - Marbella	0,07	0,04	A	A	1,04	1,30	A	A
25 - Rosario	0,08	0,05	A	A	1,23	1,54	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,13	0,08	A	A	1,97	2,46	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,28	0,16	A	A	4,05	5,07	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,11	0,07	A	A	1,67	2,09	A	A
21 - Libia - Rafael	0,24	0,14	A	A	3,60	4,50	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,11	0,06	A	A	1,57	1,96	A	A
19 - Roma - Areguati	0,11	0,07	A	A	1,68	2,10	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,13	0,65	C	A	16,66	20,82	B	B
17 - Smidel - Piccioli	0,17	0,10	A	A	2,56	3,20	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,07	0,04	A	A	1,07	1,33	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,26	0,15	A	A	3,89	4,86	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,39	0,22	A	A	5,71	7,14	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,35	0,20	A	A	5,20	6,50	A	A
12 - Comercio - Viana	0,48	0,27	A	A	7,01	8,76	A	A
11 - Abreu - Propios	0,42	0,24	A	A	6,12	7,65	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,64	0,37	A	A	9,46	11,83	A	A
9 - Cibils - Gremca	0,10	0,06	A	A	1,49	1,86	A	A
8 - Albo	0,53	0,30	A	A	7,74	9,68	A	A
7 - Tres Cruces	0,70	0,40	A	A	10,23	12,79	A	A
6 - Requena y Paullier	0,08	0,05	A	A	1,22	1,52	A	A
5 - Ed. Acevedo - F. Crespo	0,70	0,40	A	A	10,32	12,90	A	A
4 - Minas - Magallanes	0,61	0,35	A	A	8,91	11,14	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	1,54	0,89	C	B	22,67	28,34	B	C
2 - Rio Negro - Paraguay	0,32	0,18	A	A	4,64	5,80	A	A
1 - Andes - Convención	1,57	0,90	C	B	23,04	28,80	C	C
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Ituzaingo	0,00	0,00	A	A	0,27	0,33	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	0,25	0,31	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,38	0,22	A	A	5,64	7,04	A	A
0.4 - Colón - Alzabar	0,18	0,10	A	A	0,00	0,00	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Ituzaingo	2,08	1,20	D	C	30,60	38,25	C	D
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 129. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPT – Regularidad: 25% de variación en los intervalos – Escenario 3 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



El análisis con incremento de 50% en intervalos durante la HPT representa la situación más crítica de todas. Cuatro estaciones llegan a niveles de servicio “D” en el criterio más conservador para la espera en plataforma, incluyendo Zonamérica. En el cálculo realista, las mayores saturaciones de espera se dan en dos lugares: Zonamérica y Treinta y Tres.

El análisis de ancho para circulación muestra esos dos lugares con nivel “E” calculados con el efecto potencial de la regularidad, adicionando otras dos paradas con nivel “D” en la Av. 18 de Julio (Andes-Convención y Yaguarón Ejido). Cuando se calcula la saturación en el flujo de pasajeros sin el efecto de variación de intervalos, los NDS de esas estaciones son, respectivamente “D” para las dos primeras y “C” para los dos de 18 de Julio.

Estación	Densidad de pasajeros en espera (pax/m ²)		NDS pasajeros en espera		Flujo peatonal de pasajeros circulando en la parada (pax/m/min)		NDS flujo de pasajeros en circulación	
	Conservador	Realista	Conservador	Realista	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad	Sin Concentración por Regularidad	Con Concentración por Regularidad
38 - Zonamerica	2,76	1,59	D	C	40,59	60,88	D	E
37 - Mgap	0,02	0,01	A	A	0,26	0,39	A	A
36 - Angel Zanelli	0,10	0,06	A	A	1,48	2,22	A	A
35 - Marcelino Champagnat km16	0,84	0,48	B	A	12,35	18,53	A	B
34 - Arroyo Manga - Costanera	0,03	0,01	A	A	0,38	0,57	A	A
33 - Miguel Estevez	0,07	0,04	A	A	1,01	1,51	A	A
32 - F. Rodríguez	0,03	0,02	A	A	0,40	0,60	A	A
31 - Leandro gomez	0,07	0,04	A	A	0,99	1,48	A	A
30 - Plutón	0,16	0,09	A	A	2,29	3,43	A	A
29 - Cerdeña	0,07	0,04	A	A	0,00	0,00	A	A
28 - Escuela 179	0,47	0,27	A	A	6,88	10,33	A	A
27 - Estepona	0,08	0,05	A	A	1,21	1,82	A	A
26 - Marbella	0,08	0,05	A	A	1,18	1,77	A	A
25 - Rosario	0,10	0,05	A	A	1,40	2,10	A	A
24 - Chacarita de los Padres	0,15	0,08	A	A	2,17	3,26	A	A
23 - Susana Pintos - Génova	0,32	0,19	A	A	4,74	7,11	A	A
22 - Venecia y 17 mts	0,13	0,08	A	A	1,94	2,90	A	A
21 - Libia - Rafael	0,26	0,15	A	A	3,78	5,68	A	A
20 - Cochabamba - Celiar	0,12	0,07	A	A	1,74	2,61	A	A
19 - Roma - Areguati	0,13	0,07	A	A	1,85	2,78	A	A
18 - Intercambiador Belloni	1,27	0,73	C	A	18,71	28,07	B	C
17 - Smidel - Piccioli	0,20	0,11	A	A	2,91	4,36	A	A
16 - Vera - Villademoros	0,08	0,05	A	A	1,16	1,75	A	A
15 - 21 abril - 20 Febrero	0,30	0,17	A	A	4,40	6,60	A	A
14 - Silvestre Perez - PA	0,45	0,26	A	A	6,58	9,87	A	A
13 - Larravide - Forteza	0,41	0,23	A	A	5,96	8,94	A	A
12 - Comercio - Viana	0,55	0,31	A	A	8,03	12,04	A	A
11 - Abreu - Propios	0,48	0,28	A	A	7,05	10,58	A	A
10 - M Moreno - Centenario	0,74	0,43	A	A	10,90	16,35	A	B
9 - Cibils - Gremca	0,12	0,07	A	A	1,70	2,55	A	A
8 - Albo	0,61	0,35	A	A	8,93	13,39	A	A
7 - Tres Cruces	0,81	0,46	A	A	11,90	17,85	A	B
6 - Requena y Paullier	0,09	0,05	A	A	1,29	1,94	A	A
5 - Ed.Acevedo - F.Crespo	0,82	0,47	A	A	12,10	18,15	A	B
4 - Minas - Magallanes	0,72	0,41	A	A	10,52	15,79	A	A
3 - Yaguarón - Ejido	1,82	1,05	D	B	26,76	40,14	C	D
2 - Río Negro - Paraguay	0,36	0,21	A	A	5,36	8,04	A	A
1 - Andes - Convención	1,85	1,06	D	B	27,19	40,79	C	D
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A
0.1 - Carlos Gomez - Itzaingo	0,00	0,00	A	A	0,27	0,40	A	A
0.2 - Perez Castellano - Maciel	0,00	0,00	A	A	0,25	0,38	A	A
0.3 - Sarandi - Bs As - C	0,45	0,26	A	A	6,69	10,03	A	A
0.4 - Colón - Alzábar	0,22	0,12	A	A	0,00	0,00	A	A
0.5 - Treinta y Tres - Itzaingo	2,50	1,43	D	C	36,71	55,07	D	E
Plaza Independencia	0,00	0,00	A	A	0,00	0,00	A	A

Figura 130. NDS de pasajeros en espera y en circulación – HPT – Regularidad: 50% de variación en los intervalos – Escenario 3 de servicios troncales. Fuente: Elaboración propia.



12. Análisis de Capacidad y Saturación de Oferta

El análisis de la operación del sistema BRT propuesto para el corredor de la Avenida 18 de Julio se abordó desde una perspectiva integral, orientada a evaluar las condiciones de saturación de la oferta de transporte y los fenómenos asociados a la capacidad y la regularidad del servicio, en particular el denominado bus bunching o apelotonamiento de vehículos. Para ello, se adoptó una estrategia metodológica complementaria que combina enfoques analíticos basados en teoría de colas y lineamientos del Highway Capacity Manual (HCM), con un abordaje estocástico mediante microsimulación.

Esta integración metodológica permite capturar tanto el comportamiento promedio del sistema, a través de formulaciones analíticas simplificadas, como los efectos dinámicos y no lineales propios de la operación real de los buses, que emergen de la interacción entre vehículos, paradas, control semafórico y variabilidad operacional.

12.1. Abordaje Analítico: Metodología

La capacidad de una línea de autobuses no está determinada únicamente por la infraestructura lineal (carriles exclusivos o busways). **Son principalmente los puntos de detención/parada los que determinan los límites de capacidad de estos sistemas, en particular las áreas de abordaje y descenso en estaciones y paradas (denominados *berths* en la literatura internacional).**

En sistemas de Bus Rapid Transit (BRT), estos puntos concentran la mayor parte de las demoras operativas y, por tanto, constituyen el principal factor limitante de la capacidad y regularidad de toda la ruta. La literatura técnica y la experiencia operacional muestran que, aun cuando un carril exclusivo puede admitir un alto volumen de autobuses en condiciones de flujo continuo, la capacidad efectiva del sistema queda condicionada por la capacidad de las plataformas, andenes o paradas, es decir, por el número máximo de autobuses que pueden atender pasajeros en una estación sin que se formen colas que afecten la operación aguas arriba.

Para estimar esta capacidad crítica, se emplea la siguiente expresión general para la **capacidad de abordaje de un área de carga** (*berth capacity*), expresada en autobuses por hora por sentido:

$$B_{bb} = \frac{3,600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z_a c_v t_d}$$

En donde

- B_{bb} representa el número máximo de autobuses por hora por sentido que puede atender un área de abordaje bajo condiciones específicas de operación.
- g/C – Proporción de verde efectivo del ciclo semafórico
Representa la fracción del tiempo en que el autobús puede efectivamente acceder y utilizar el *berth*. En paradas no semaforizadas o estaciones fuera de intersección, este valor es igual a 1.0 (100%). En estaciones ubicadas antes de una intersección semaforizada, este término refleja la pérdida de capacidad asociada al control semafórico y su impacto directo en la tasa de atención de autobuses.
- t_c – Tiempo de despeje o liberación entre autobuses (*clearance time*)
Corresponde al tiempo requerido entre la salida de un autobús y la entrada del siguiente al *berth*. Incluye el cierre de puertas, el arranque del vehículo, la maniobra de salida y el reposicionamiento del autobús



siguiente. La bibliografía señala que este componente, aunque breve (del orden de segundos), es crítico cuando se manejan frecuencias altas.

- t_d – **Tiempo medio de detención (*dwelt time*)**

Es el tiempo promedio durante el cual el autobús permanece detenido con puertas abiertas para el abordaje y descenso de pasajeros. Este tiempo depende directamente de:

- El volumen de pasajeros que suben y bajan,
- El número y configuración de puertas,
- El método de recaudo (pago a bordo, prepago, validación externa),
- La distribución espacial de los pasajeros dentro del vehículo.

- c_v – **Coeficiente de variación del tiempo de detención**

Refleja la **variabilidad** del tiempo de detención respecto a su valor medio. Esta variabilidad surge por fluctuaciones en la demanda, comportamiento de los usuarios, interferencias operativas y diferencias entre servicios. Los documentos de referencia muestran que ignorar esta variabilidad conduce a sobreestimar la capacidad real del *berth*.

- Z_a – **Factor de confiabilidad operativa**

Es un parámetro estadístico asociado a la probabilidad de que no se formen colas detrás de la parada o estación. Valores mayores de Z_a implican un diseño más conservador, con menor riesgo de colapso operativo, pero también con una capacidad nominal menor. Este término introduce explícitamente el criterio de confiabilidad en el análisis, aspecto clave en corredores BRT de alta demanda.

Aplicación de los parámetros de capacidad a los distintos contextos operativos del corredor

La formulación de la capacidad de punto de parada (*berth capacity*) se aplicó utilizando una memoria de cálculo específica, desarrollada para evaluar el rango de capacidad operativa del corredor 8 de Octubre, en función de las condiciones de diseño y operación consideradas en el proyecto.

En el análisis se distingue explícitamente entre:

- los tramos en superficie con intersecciones semaforizadas, correspondientes a los corredores 8 de Octubre y 18 de Julio, y
- los tramos sin intersecciones (túnel y cruces soterrados),

los cuales presentan **comportamientos operativos sustancialmente distintos** y, en consecuencia, **impactos significativamente diferentes en los valores de capacidad que pueden asumirse para el proyecto**.

A continuación, se describen los **parámetros empleados en el análisis**, así como su aplicación a los distintos contextos operativos del corredor.

12.1.1. g/C – Proporción de verde efectivo del ciclo semafórico

La proporción de verde efectivo del ciclo semafórico (g/C) representa uno de los factores de mayor impacto en los rangos de capacidad del sistema, ya que limita el tiempo disponible para que los autobuses accedan a la plataforma de abordaje.



Con base en el análisis de los tiempos de las fases semafóricas observadas en el corredor, se identificaron condiciones típicas y críticas de operación, que permiten caracterizar adecuadamente la variabilidad del sistema (ver Sección 7 – Marcha tipo).

- **Corredor 18 de Julio**

- El corredor 18 de Julio presenta una **semaforización relativamente homogénea**, con una partición promedio de **55 % de verde efectivo** para el corredor principal, correspondiente a **36–37 s de fase verde** dentro de un ciclo total de aproximadamente 66 s.
- Este valor se considera representativo de una **prioridad media de paso** del transporte público en superficie. No obstante, de acuerdo con las premisas de diseño del proyecto, esta condición sería **sustituida por una operación continua** ($g/C = 1.0$), una vez implementada la infraestructura de **túnel prevista para este tramo**, eliminando completamente la interferencia semafórica.

- **Corredor 8 de Octubre**

- El corredor 8 de Octubre presenta, en términos generales, una **prioridad de paso superior**, con valores típicos cercanos al **70 % de g/C** . Sin embargo, es importante destacar que **hasta un 50 % de las intersecciones actuales presentan condiciones significativamente menos favorables**, lo que introduce una variabilidad relevante en la capacidad operativa del corredor.
- Por este motivo, el análisis considera **tres condiciones representativas de semaforización**, que permiten capturar el rango de desempeño del sistema:
 - **Condición crítica – 41 % de g/C**
Corresponde a la condición más restrictiva identificada en el corredor, presente actualmente en **tres intersecciones**. Si bien las intersecciones más complejas tienen prevista su conversión a pasos soterrados —eliminando esta limitación—, la intersección de **8 de Octubre con Garibaldi** podría mantenerse como un **punto crítico de diseño**, que actualmente cuenta con una proporción de tiempo de verde del 44% sobre el ciclo semafórico total, representando la condición más desfavorable del corredor.
 - **Condición intermedia – 52 % de $\frac{g}{C}$**
Aproximadamente **30 % de las intersecciones** presentan una partición semafórica similar a la del corredor 18 de Julio. Dada su distribución a lo largo del corredor, esta condición se considera **representativa de la capacidad de diseño** del sistema en superficie.
 - **Condición predominante – 70 % de $\frac{g}{C}$**
La mayoría de las intersecciones del corredor 8 de Octubre cuentan con una **prioridad de paso elevada**, cercana al 70 % del ciclo semafórico. Esta condición incrementa de forma significativa la capacidad vial y del sistema de transporte en dichos puntos.

12.1.2. t_c – Tiempo de despeje o liberación entre autobuses (clearance time)

Para el tiempo de liberación de la plataforma se utilizó una estimación del tiempo de recorrido del vehículo dentro de la estación, considerando aceleraciones y velocidades consistentes con la marcha tipo del proyecto (aceleración $a = 1.3 \text{ m/s}^2$ y velocidad en estación de 35 km/h).

Bajo estos supuestos, el tiempo de despeje se estimó en: $t_c = 16.54 \text{ s}$

Este valor se mantuvo constante en todos los escenarios, al depender principalmente de las características del material rodante y del diseño geométrico de la estación.



12.1.3. t_d – Tiempo medio de detención (dwell time)

Con base en los resultados de la modelación operativa, se realizó una primera estimación de los tiempos de detención requeridos por estación, considerando una operación de 26 servicios por hora en el período pico en cada sentido, y el uso de autobuses biarticulados (25 metros) con cuatro puntos de ascenso y descenso (puertas dobles o sencillas).

Los resultados indican que, para la mayoría de las estaciones, el tiempo mínimo de apertura y cierre de puertas (7 s) sería suficiente para atender la demanda, incluso en hora pico. No obstante, se identificaron cinco estaciones intermedias que podrían requerir tiempos de detención de hasta 12 s, debido a mayores volúmenes de abordaje y descenso: Marcelino Champagnat – km 16, Escuela 179, Intercambiador Belloni, Yaguarón – Ejido, Río Negro – Paraguay

Adicionalmente, en las dos terminales del sistema, los tiempos de detención podrían alcanzar valores cercanos a 30 s, debido a la concentración de flujos de pasajeros y maniobras operativas.

12.1.4. c_v – Coeficiente de variación del tiempo de detención

Para el análisis se adoptó un coeficiente de variación del tiempo de detención de $c_v = 0.6$, valor recomendado por el TCRP Report 165 para el diseño de servicios urbanos en ausencia de mediciones específicas de campo. Posteriormente, se evaluó el impacto del C_v en la capacidad del corredor, considerando el escenario más representativo del corredor.

12.1.5. Z_a – Factor de confiabilidad operativa

Se adoptó un criterio de planeación preliminar de capacidad para sistemas BRT asociado a una tasa de falla del 10 %, lo que implica aceptar que en el 10 % de los casos puedan formarse colas temporales de autobuses en la plataforma de embarque. Este nivel de confiabilidad representa un compromiso razonable entre capacidad nominal y regularidad operativa, particularmente adecuado para corredores urbanos de alta demanda. Así como para el C_v , posteriormente, se evaluó el impacto del C_v en la capacidad del corredor, considerando el escenario más representativo del corredor.

12.2. Abordaje Analítico: Resultados

Estimación preliminar de capacidad del corredor 8 de octubre

Con la parametrización descrita, se presentan los resultados del ejercicio de capacidad, estructurados en:

- Estimación preliminar de la capacidad del corredor 8 de Octubre,
- Rangos de capacidad de punto de parada, en función del tiempo de detención y de las condiciones de semaforización, y
- Análisis de sensibilidad frente a variaciones en el coeficiente de variación y en el nivel de confiabilidad (c_v y Z_a).



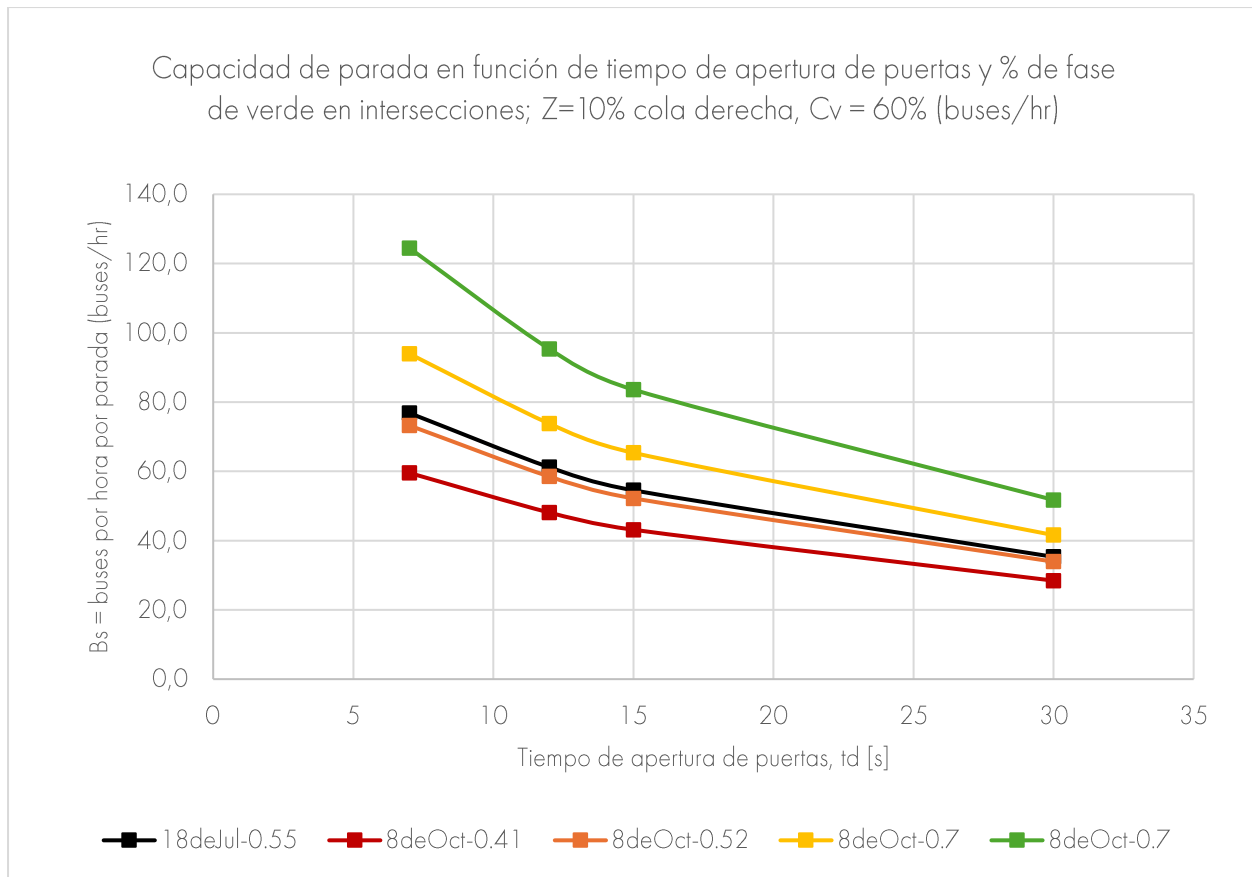
Los resultados confirman que:

- Las estaciones en superficie con semaforización restrictiva constituyen los principales cuellos de botella del sistema.
- Considerando la condición del corredor 8 de octubre, en donde se presentan fases semafóricas con 52% (promedio) de fase semafórica para el tránsito del corredor, el rango de capacidad operación de las estaciones podría considerarse entre 73 y 59 autobuses por hora por sentido.
- En caso de no poder reorganizar las intersecciones con partición semafórica del 40-42%, como lo es la intersección de 8 de Octubre con Garibaldi, estas podrían representar un cuello de botella para un crecimiento futuro del corredor, o la generación de colas durante la fase semafórica.
- Por otro lado, los tramos sin intersecciones (túnel y pasos soterrados) presentan capacidades mayores a los 84 buses por hora por sentido, al operar con $g/C=1.0$, y no condicionan la capacidad global del corredor.

Intersecciones	% verde, fase semafórica g/C	tiempo de parada (s)				Variación vs fase de diseño 52% g/C , 7 s		
		7 Mínimo	12 Estaciones críticas	15 impactos por retrasos	30 terminales	7 Mínimo	12 Estaciones críticas	15 impactos por retrasos
Fase representativa 18 de julio								
	55%	77	61	55	35	5%	-16%	-26%
Fases representativas 8 de Octubre								
14% de las fases	41%	60	48	43	29	-19%	-34%	-41%
29% de las fases	52%	73	59	52	34		-20%	-29%
57% de las fases	70%	94	74	65	42	28%	1%	-11%
Estaciones sin intersección								
túnel + cruces soterrados	100%	125	95	84	52	70%	30%	14%

Figura 131. Rango de capacidades por punto de parada tipo, según grupo de g/C y tiempo de parada. Fuente: Elaboración propia.





En cuanto a la variación de capacidad asociada a la regularidad en el comportamiento de los tiempos de detención y a la formación de colas en estación, los resultados muestran que, para un rango probable de operación, la capacidad del sistema presenta una variación del orden de $\pm 10\%$ respecto a la capacidad estimada.

Este rango se obtiene considerando valores del coeficiente de variación del tiempo de detención (c_v) entre 0.4 y 0.8, así como tasas de formación de colas en estación entre 8 % y 15 %, ambos parámetros ampliamente aceptados para la operación urbana de un sistema BRT con carriles segregados, estaciones confinadas y esquema de prepago. Estos resultados confirman que la capacidad estimada es robusta frente a variaciones razonables de la operación, y que el sistema puede absorber fluctuaciones normales de demanda y comportamiento de los usuarios sin comprometer de manera significativa su desempeño operativo.



Probabilidad de colas	(Za)	Cvar=0.4	Cvar=0.5	Cvar=0.6	Cvar=0.7	Cvar=0.8	Cvar=0.9	Cvar=1
1%	2.33	70.1	66.1	62.5	59.2	56.3	53.7	51.3
3%	1.96	72.9	69.2	65.9	62.9	60.1	57.6	55.2
5%	1.645	75.5	72.2	69.1	66.3	63.7	61.3	59.1
8%	1.44	77.3	74.2	71.4	68.7	66.3	64.0	61.9
10%	1.28	78.8	75.9	73.3	70.8	68.5	66.3	64.2
15%	1.04	81.1	78.6	76.3	74.1	72.0	70.0	68.2
20%	0.84	83.1	81.0	79.0	77.1	75.2	73.5	71.8
25%	0.675	84.8	83.0	81.3	79.7	78.1	76.6	75.2
30%	0.525	86.5	85.0	83.6	82.3	81.0	79.7	78.5
50%	0	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8	92.8

Figura 132. Variación de capacidad vs escenario típico de corredor 8 de Octubre ($T_d=7$ s, $g/C = 52\%$)

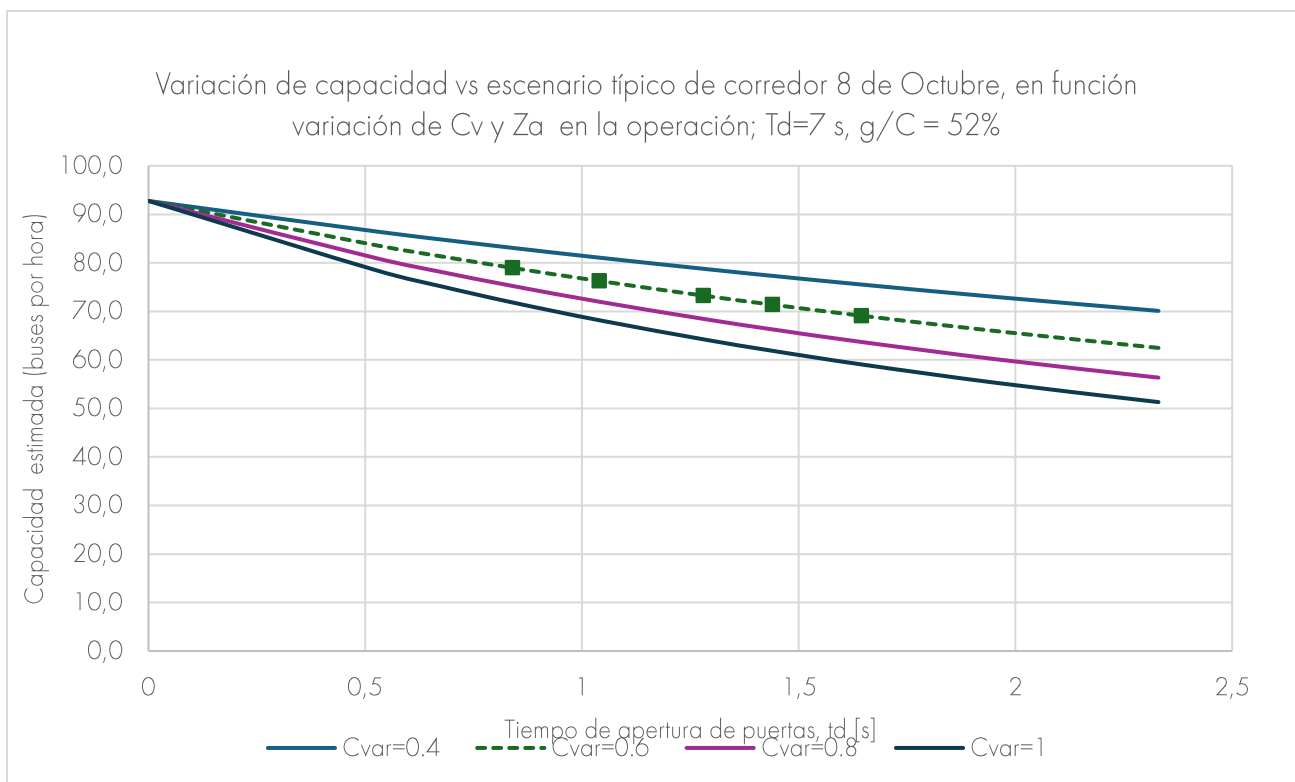


Figura 133. Variación de capacidad vs escenario típico de corredor 8 de Octubre ($T_d=7$ s, $g/C = 52\%$)

Variación de capacidad en rango probable vs Escenario CV=0.6; $Z_a=1.28$	(Za)	Cvar=0.4	Cvar=0.5	Cvar=0.6	Cvar=0.7	Cvar=0.8
5%	1.645	-3%	1%	6%	10%	13%
8%	1.44	-6%	-1%	3%	6%	10%
10%	1.28	-8%	-4%		3%	7%
15%	1.04	-11%	-7%	-4%	-1%	2%
20%	0.84	-13%	-11%	-8%	-5%	-3%
25%	0.675	-16%	-13%	-11%	-9%	-7%

Figura 134. Variación de capacidad en rango probable de desempeño Operacional vs Escenario, $t_d=7$ s, $G/C = 52\%$, $CV=0.6$; $Z_a=1.28$



12.3. Abordaje de Microsimulación: Metodología

Se desarrolló un modelo de microsimulación en PTV VISSIM, focalizado en un tramo comprendido entre las calles Fernández Crespo y Paullier y en donde se analizan dos situaciones concretas:

- Situación BRT en Superficie
- Situación BRT Soterrado

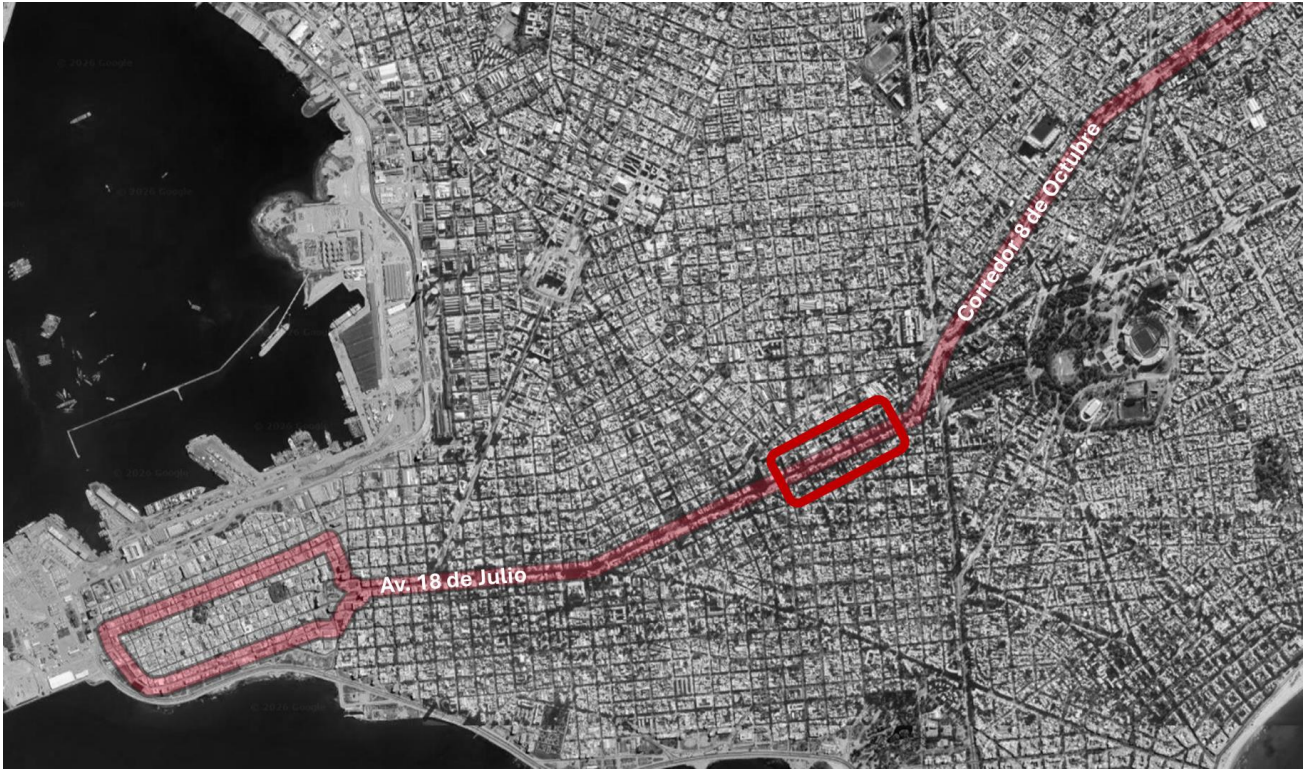


Figura 135. Zona de modelización. Fuente: Elaboración propia

Este tramo entre las calles Fernández Crespo y Paullier fue seleccionado después de ser acordado con el cliente y es de especial importancia debido a que concentra dos paradas relevantes del sistema en donde se puede comparar las diferencias de operación entre el escenario en superficie (donde se pueden producir condiciones operativas complejas asociadas por ejemplo al sistema de control semafórico) y el escenario soterrado donde a contraposición se minimiza en el sistema las externalidades presentes en la operación sobre superficie.

12.3.1. Red Vial

La construcción de la red vial consiste en desarrollar arcos dentro del software PTV VISSIM que representen la oferta vial, definiendo anchos y cantidad de carriles por donde circulan los vehículos del área en estudio, tanto en la situación de BRT en Superficie como en la situación BRT Soterrado.

La red vial se construyó a partir de la información de base provista por la contraparte sobre la configuración del corredor y de la vialidad y semáforos, correspondiente a la geometría propuesta durante la fase de análisis de prefactibilidad del proyecto. Dicha geometría fue representada explícitamente en el modelo, permitiendo reproducir las condiciones físicas y funcionales previstas para la operación del sistema BRT, en las siguientes figuras se presentan las dos configuraciones de red construidas.





Figura 136. Red de modelo de microsimulación en situación de superficie. Fuente: Elaboración propia con PTV VISSIM

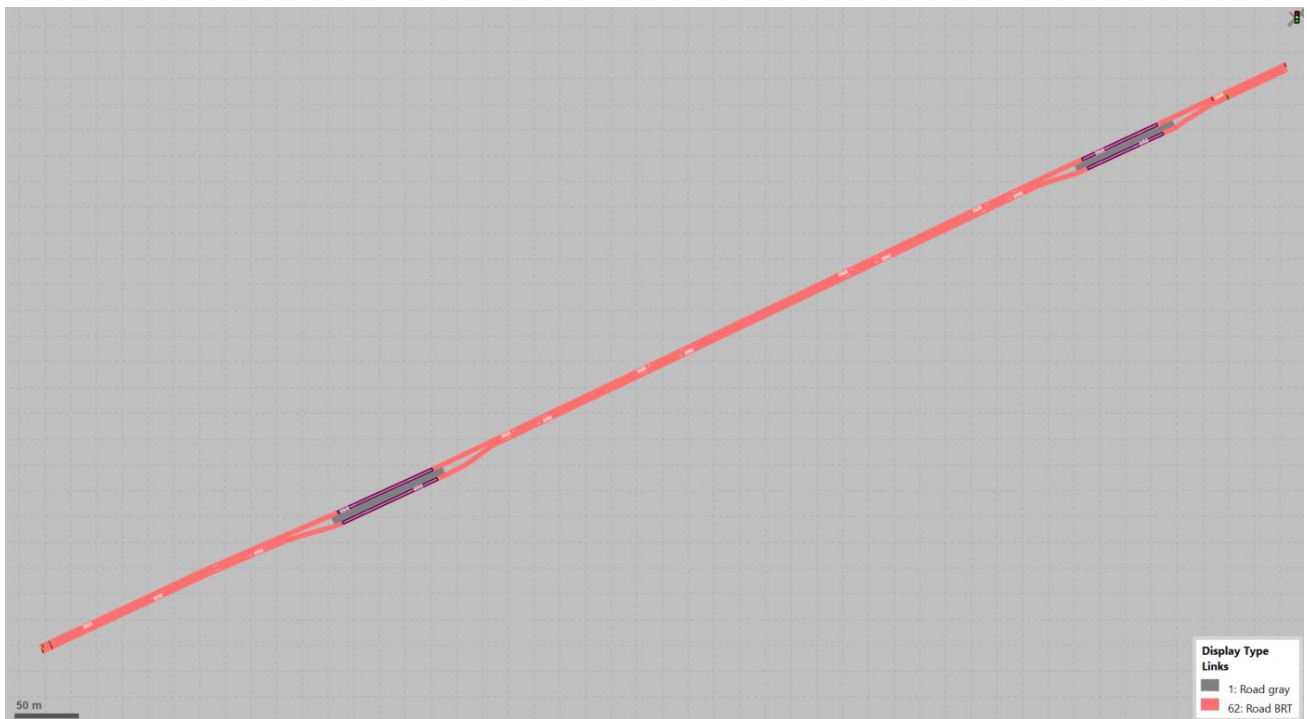


Figura 137. Red de modelo de microsimulación en situación soterrado. Fuente: Elaboración propia con PTV VISSIM



12.3.2. Configuración de Controladores Semafóricos

Para la óptima representación de las características operativas de la red es necesario representar toda la operación de los nodos evaluados, esto quiere decir que si los nodos son controlados por semáforos los mismos también deben ser representados y construidos en PTV VISSIM, en este sentido el corredor de BRT estudiado presenta un total de 7 intersecciones de las cuales todas son semaforizadas y que deben ser representadas en la situación de superficie evaluada. En la siguiente figura se muestra el corredor estudiado con cada una de las intersecciones semaforizadas.



Figura 138. Trazado de microsimulación y ubicación de semáforos. Fuente: Elaboración propia

Todos los semáforos que operan sobre el sector de estudio poseen dos fases, permitiendo primero movimientos pasantes y de giros a derecha sobre el trazado de la Av. 18 de Julio para luego permitir a los pasantes y giros de las calles transversales, esta operación es configurada dentro de VISSIM gracias a la información aportada por la Intendencia de Montevideo.

12.3.3. Tipos de Vehículos

El software PTV VISSIM permite especificar diferentes tipos de vehículos en un volumen vehicular. El programa cuenta con varios modelos por defecto, como ser autos, camiones y colectivos.

En base a la información aportada por el cliente sobre las unidades de autobuses que operaran en el tramo estudiado de dicho corredor de la Av. 18 de Julio, se representan los modelos de ómnibus presentes en el software que mejor reflejen a las especificaciones esperables, rondando la longitud de este en unos 18 metros.

Es importante destacar que este es un modelo netamente referencial con el cual se pretenden obtener indicadores iniciales para estudiar atributos concernientes a la operación y no tanto para el dimensionamiento de espacios físicos dentro del sistema.



Seguidamente también es importante aclarar que en dicho modelo no se incluye la operación vehicular externa que puede existir fuera del corredor exclusivo del BRT para la situación de superficie, esto debido a que, la red estudiada se cuenta con semáforos en todos los cruces y se puede entender que la operación quedaría regulada por estos controles semafóricos.

12.3.4. Cantidad de vehículos que ingresan a la red y tiempo de simulación.

La representación de ingresos de los vehículos en la red está dada por los datos de intervalos usados en el punto 11. Análisis de Saturación de Pasajeros en Estaciones, contemplando un total de 26 servicios por hora por sentido dentro del modelo en PTV VISSIM.

Se realizan corridas de 7200 segundos (dos horas) con la finalidad de poder obtener una mayor cantidad de indicadores de operación sobre el comportamiento relativo de cada unidad representada en la simulación.

Con estos datos se realizó la generación de decisiones de rutas (rutas de transporte) necesarias para el funcionamiento del sistema. Como su nombre lo indica, estas decisiones guían los movimientos de los vehículos dentro de la simulación representando el enrutamiento de los vehículos. Si bien la red estudiada es longitudinal en todo su trayecto (sin giros ni retomes) es necesario realizar este paso dentro del software para poder representar las paradas y la operación de cada uno de los intervalos. En los diferentes escenarios a estudiar la ruta se mantiene fija, modificando únicamente los intervalos, tal como se verá más adelante.

12.3.5. Calibración de parámetros y construcción de escenarios de microsimulación.

Para la representación operativa de los vehículos dentro de la red, dentro de la microsimulación se calibraron los parámetros tales como aceleraciones y desaceleraciones medias y máximas de los vehículos ligados a la operación del BRT así como también las velocidades de operación entre paradas, estos parámetros fueron calibrados utilizando como referencia los resultados de los análisis de Marcha Tipo, ajustando de manera consistente los principales parámetros operativos del sistema.

Tal como se comentó anteriormente, otro de los aspectos que se tomaron en cuenta para la representatividad del modelo fue la tipología de vehículo representativo de la flota BRT. Por otro lado, en VISSIM hay diversas formas de representar la permanencia de los vehículos en cada parada del sistema, ya sea por tiempos fijos, intervalos de tiempo asignados aleatoriamente o tomando en cuenta las cantidades de ascensos y descensos existentes en cada parada del sistema, este último método fue el usado para la representación de los tiempos de permanencia en paradas por la realización de volúmenes de maniobras de ascensos y descensos, estos volúmenes fueron extraídos de los resultados del modelo macro y replicados en dicho escenario de microsimulación.

En cuanto a los intervalos de ingreso de los vehículos a la red (*headways* programados) los mismos se pueden representar en función del tiempo exacto que cada vehículo es esperado sobre la red, esto también se puede configurar para que pueda variar en función de una distribución que determina la variabilidad de los ingresos a la red tomando como base la programación aportada por el analista. No obstante, por las características y el objetivo del presente estudio de analizar que afectaciones se pueden generar sobre el sistema de BRT una cierta variabilidad de escenarios de ingresos dentro de la red, se ha realizado una configuración de análisis que determina diversos escenarios de entradas de servicios BRT a la red en función de los grados de regularidad que se puedan presentar y de esta forma realizar un análisis comparativo entre cada escenario.



Se generaron 6 escenarios con diferentes niveles de regularidad en los intervalos de paso, aplicados tanto para la situación de BRT soterrado como para la situación de BRT en superficie, totalizando 12 escenarios de simulación para una determinada configuración de oferta de servicios troncales. A su vez, se desarrolló ese análisis para dos configuraciones distintas:

- la primera adoptando la frecuencia de 26 vehículos por hora por sentido estipulados para la HPM en el capítulo 10 para los servicios troncales del corredor Con. Maldonado - 8 de Octubre;
- y la segunda configuración equivalente a un análisis de estrés por la incorporación de una oferta adicional de 50%, dado que está planificada la implementación de un BRT en Av. Giannattasio – Av. Italia, cuyos servicios troncales compartirán el tramo de la Av. 18 de Julio junto con los servicios de 8 de Octubre.

Los escenarios de niveles de regularidad se construyen partiendo de un escenario base totalmente regular (con intervalos de entrada constantes) y 5 escenarios que van disminuyendo progresivamente la regularidad de los servicios al aumentar el desvío estándar de la distribución de los intervalos de paso. Se utilizó una distribución Gamma para representar la distribución de los intervalos, que incorpora ciertos grados de desviación estándar entre intervalos, desde 0% (operación totalmente uniforme) incrementándose a los niveles de 25%, 50%, 75%, 100% y 150% (escenario más irregular, con alta incidencia de bunching y “huecos” entre buses). A continuación, la Tabla 40 presenta, para cada escenario de nivel de regularidad, la lista de tiempo de intervalo entre buses para cada uno de las 52 unidades que circulan por sentido durante los 120 minutos de simulación para la configuración 1 (frecuencia de 26 vehículos por hora por sentido). Se puede observar como en las columnas hacia la derecha la variación aumenta progresivamente, con incidencia mucho más intensa de situación de bunching (intervalos cercanos a cero segundos) y de “huecos” (intervalos excesivamente elevados, de 3, 4 o 5 minutos).

Para la configuración 2, cuya frecuencia de paso alcanza los 40 vehículos por hora por sentido, se generó una tabla equivalente, con los seis niveles de desvío estándar de los intervalos para evaluar escenarios incrementales de pérdida de regularidad, pero con *headway* promedio de 90 segundos y un total de 80 unidades a lo largo de 2 horas de simulación.

Tabla 40. Distribución de intervalos de paso para cada nivel de regularidad como input para la microsimulación (configuración 1).

Departures (s) según el porcentaje de desviación estándar estudiado						
Intervalos	0%	25%	50%	75%	100%	150%
1	138	231	105	109	41	176
2	138	116	108	92	34	15
3	138	121	73	82	50	80
4	138	161	295	60	23	16
5	138	140	70	476	299	97
6	138	99	96	83	31	19
7	138	167	202	113	302	355
8	138	171	295	35	25	53
9	138	147	81	195	371	5
10	138	172	131	113	214	2
11	138	148	206	118	100	11
12	138	87	94	194	85	589
13	138	128	73	56	38	226
14	138	169	254	280	393	2
15	138	110	62	59	64	40
16	138	139	104	42	61	681
17	138	186	138	194	237	19
18	138	135	124	136	60	246
19	138	95	35	189	44	59
20	138	180	218	64	469	10
21	138	122	142	65	99	222
22	138	113	151	35	40	15
23	138	111	53	203	396	31



Departures (s) según el porcentaje de desviación estándar estudiado						
Intervalos	0%	25%	50%	75%	100%	150%
24	138	150	89	18	98	589
25	138	156	122	469	15	27
26	138	163	120	85	461	33
27	138	152	153	291	43	27
28	138	75	166	60	102	307
29	138	100	261	214	71	37
30	138	141	62	113	143	79
31	138	90	124	230	28	607
32	138	130	73	61	87	100
33	138	176	144	170	498	662
34	138	132	116	181	97	27
35	138	142	148	290	241	14
36	138	146	173	80	32	636
37	138	155	76	109	113	29
38	138	66	352	101	29	45
39	138	169	75	242	228	34
40	138	193	141	85	47	83
41	138	114	86	53	95	9
42	138	121	139	37	273	41
43	138	137	201	224	38	18
44	138	148	121	73	77	39
45	138	158	185	41	59	113
46	138	111	227	163	62	10
47	138	130	41	18	265	80
48	138	151	171	36	59	138
49	138	164	73	169	248	13
50	138	129	253	90	32	39
51	138	110	102	337	56	95
52	138	102	79	142	110	206

Fuente: Elaboración propia

Conforme a estos 6 escenarios de intervalos de ingresos de servicios BRT para las dos situaciones de red estudiada (superficie y soterrado) se obtienen un total de 12 escenarios de microsimulación totales, los cuales presentan un número considerable de corridos para lograr una diversidad de eventos estocásticos distintos dentro de la red estudiada y de esta forma poder obtener una visión clara de las posibles afectaciones que la pérdida de regularidad entre vehículos pueda generar dentro del sistema.

12.3.6. Metodología de procesamiento y categorización de los datos

Para la interpretación de los resultados, se procesaron los datos en Python utilizando la biblioteca Pandas, en donde se analiza segundo a segundo el estado de cada vehículo detectado en los enlaces seleccionados. El algoritmo suma el tiempo total utilizado en cada estado operativo por el conjunto de la flota y lo normaliza dividiendo dicho total por el número de unidades identificado en la red. La clasificación de los estados operativos se basa en un árbol de decisión lógico que evalúa variables cinemáticas y de proximidad:

- Circulando: vehículo en movimiento (velocidad mayor a 0 km/h) sin interferencia inmediata.
- Parado para Embarque / Desembarque: vehículo parado (velocidad igual a 0 km/h) con posición asociada a la operación de entrada y salida de pasajeros en plataforma (Dwell Time).
- Fila en Estación (Bunching): Detención a menos de 7,0 m de otra unidad (líder) que está parada en la estación.



12.4. Abordaje de Microsimulación: Resultados

A partir de las salidas de las rodadas de la simulación en el modelo en PTV VISSIM, se evaluaron los resultados de dos configuraciones de oferta distintas, conforme mencionado anteriormente:

- la primera adoptando la frecuencia de 26 vehículos por hora por sentido estipulados para la HPM en el capítulo 10 para los servicios troncales del corredor Con. Maldonado - 8 de Octubre;
- y la segunda configuración equivalente a un análisis de estrés por la incorporación de una oferta adicional de 50%, dado que también está planificada la implementación de un corredor BRT en Av. Giannattasio – Av. Italia, cuyos servicios troncales compartirán el tramo de la Av. 18 de Julio junto con los servicios del eje Con Maldonado – 8 de Octubre.

Para cada configuración se evaluaron los seis escenarios de niveles de regularidad para cada sentido en cada configuración vial – soterrado y superficie. El objetivo de este análisis es transformar los registros granulares de la trayectoria de cada unidad en indicadores operativos que permitan comparar el desempeño en cada situación bajo condiciones de estrés creciente. Es fundamental destacar que todos los valores presentados corresponden a tiempos promedio de las 52 unidades que circularon en cada sentido en las dos horas de simulación en la configuración 1, para un total de 10 rodadas por escenario (lo mismo para las 80 unidades por sentido para las dos horas de la configuración 2). La utilización de 10 iteraciones diferentes para cada combinación de nivel de regularidad, configuración vial y sentido se debe a que, al ser un modelo estocástico, los resultados de una única rodada varían comparada a las demás, y por lo tanto es recomendable iterar diversas veces el modelo para capturar y analizar adecuadamente el efecto probabilístico de la operación, como por ejemplo el efecto de detenerse o no en un semáforo en función del ciclo de rojos y verdes. Ese cálculo mostrado en esta sección del informe integra a la totalidad de las unidades registradas en los enlaces del corredor, contabilizando tanto a los vehículos que finalizaron el recorrido como a aquellos que se encontraban en tránsito al término del periodo de simulación.

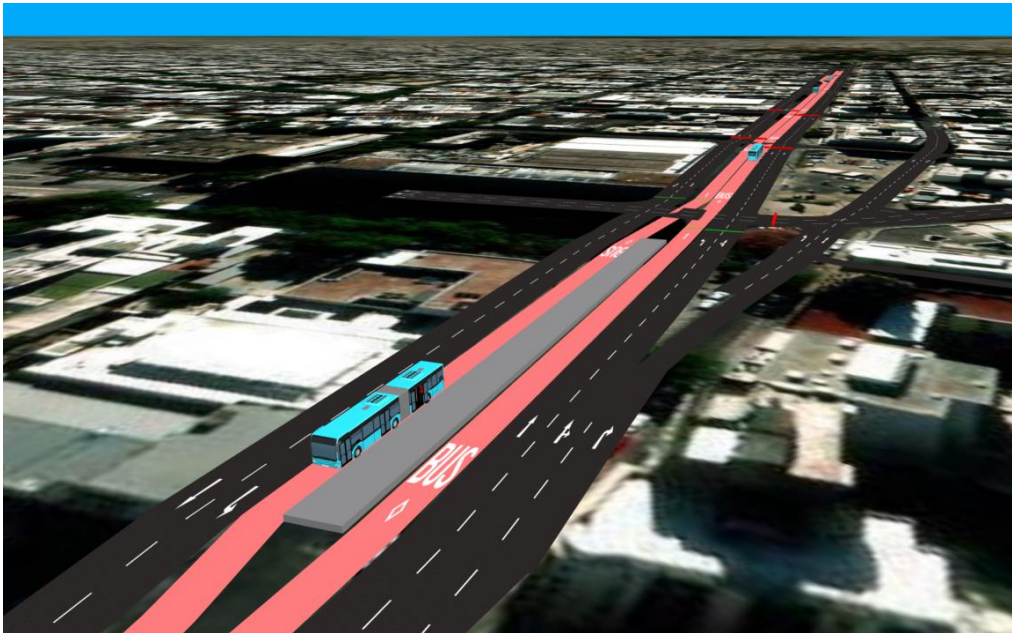


Figura 139. Captura de pantalla de la visualización renderizada de modelo de microsimulación.

Fuente: Elaboración propia con PTV VISSIM



12.4.1. Configuración 1: oferta de servicios troncales del corredor 8 de Octubre

La primera configuración de análisis corresponde a la oferta de servicios usada en la evaluación del capítulo 10 de 26 vehículos por hora por sentido en la HPM. Ese esquema de servicios troncales representa la capacidad necesaria para atender a la demanda del eje Con Maldonado – 8 de Octubre – 18 de Julio.

A partir de la categorización de la posición y la hora de las unidades según los estados operativos – Circulando; Parado para Embarque / Desembarque; Fila en Estación (Bunching); Parado en Semáforo (Líder); Fila en Semáforo (Bunching) – se obtuvo la distribución del tiempo promedio de viaje por vehículo para niveles de regularidad de 0%, 25%, 50%, 75%, 100% y 150%. Los resultados detallados con el promedio de todos los vehículos para las 10 rodadas de cada escenario se presentan en la Tabla 41, que refleja el desempeño del tramo de corredor simulado bajo condiciones de estrés creciente (empezando con regularidad totalmente uniforme de 0% de variación de los intervalos, hasta una variación de 150% de desvío estándar de los intervalos ejecutados respecto al intervalo previsto de 141 segundos que corresponde a la frecuencia de diseño de 26 ómnibus por hora por sentido). Al promediar los tiempos totales entre todas las unidades presentes en el enlace, se obtiene una métrica que considera la actividad global del corredor.

Tabla 41. Detalle de los componentes del tiempo medio de viaje por vehículo (segundos).

Escenario	Sentido	Irregularidad (%)	Circulando	Parado para Embarque / Desembarque	Fila en Estación (Bunching)	Parado en Semáforo (Líder)	Fila en Semáforo (Bunching)	Tiempo Total	Tiempo Escenario 0
Soterrado	Barrio	0	91,57	33,48	0,00	0,00	0,00	125,05	125,05
		25	90,38	33,49	0,00	0,00	0,00	123,87	125,05
		50	89,94	33,15	0,00	0,00	0,00	123,09	125,05
		75	90,48	33,15	0,23	0,00	0,00	123,86	125,05
		100	90,90	33,26	1,03	0,00	0,00	125,19	125,05
	Centro	150	93,17	33,34	9,07	0,00	0,00	135,57	125,05
		0	91,63	84,30	0,00	0,00	0,00	175,93	175,93
		25	90,40	83,34	0,06	0,00	0,00	173,80	175,93
		50	90,04	82,47	6,82	0,00	0,00	179,33	175,93
		75	90,96	81,33	15,71	0,00	0,00	188,00	175,93
Superficie	Barrio	100	90,56	83,06	33,46	0,00	0,00	207,08	175,93
		150	95,56	82,37	84,72	0,00	0,00	262,65	175,93
	Centro	0	152,22	33,05	0,00	21,23	0,00	206,50	206,50
		25	148,55	33,04	0,00	20,61	0,00	202,20	206,50
		50	149,65	32,96	0,77	20,79	0,17	204,34	206,50
		75	148,46	32,84	2,37	19,74	0,41	203,81	206,50
		100	147,37	32,92	5,79	17,76	1,03	204,87	206,50
	Barrio	150	152,93	33,29	16,54	14,39	2,34	219,48	206,50
	Centro	0	152,94	83,84	0,00	13,68	0,00	250,45	250,45
		25	152,49	82,34	1,40	15,32	0,01	251,55	250,45
		50	151,91	81,70	4,78	15,23	0,01	253,63	250,45
		75	153,72	80,84	15,94	16,13	0,36	266,99	250,45
		100	154,43	81,60	36,57	15,30	1,17	289,08	250,45
		150	162,41	82,97	87,85	14,07	4,88	352,17	250,45

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 140 a Figura 143 presentan la composición del tiempo de viaje para los escenarios soterrado y de superficie. En la configuración soterrada, el incremento en los tiempos promedio se atribuye principalmente al fenómeno de Fila en Estación (Bunching), dada la eliminación de interferencias externas que generan demoras en semáforo (sea como líder o en bunching). Por el contrario, el escenario de superficie muestra tiempos superiores debido a la carga adicional de las demoras en semáforos tanto Parado en Semáforo (Líder) como de Fila en Semáforo (Bunching).

Es posible observar, aunque en términos totales sean marginales y no significativas, pequeñas demoras adicionales en el tiempo en movimiento, debido a desaceleraciones que se generan en el modelo de simulación por la aproximación de vehículos cercanos, que no generan parada total pero impactan marginalmente en el tiempo total.



Un aspecto importante a destacar es la mayor incidencia de demoras por bunching en el sentido más cargado del corredor. En el sentido hacia el centro, donde la demanda de pasajeros es más intensa durante el pico de la mañana, usado en la simulación, el tiempo parado para embarque y desembarque naturalmente es más elevado. Ese mayor tiempo parado en estaciones, por su, parte genera más demoras por filas (bunching) en estaciones. La Figura 140 muestra como en el sentido centro aparecen demoras significativas por bunching en estaciones ya desde el escenario con 50% de variación de los intervalos, mientras que en el sentido barrio esos tiempos adicionales por filas en estaciones sólo son notables en el escenario de más estrés de regularidad, de 150% de variación de intervalos.

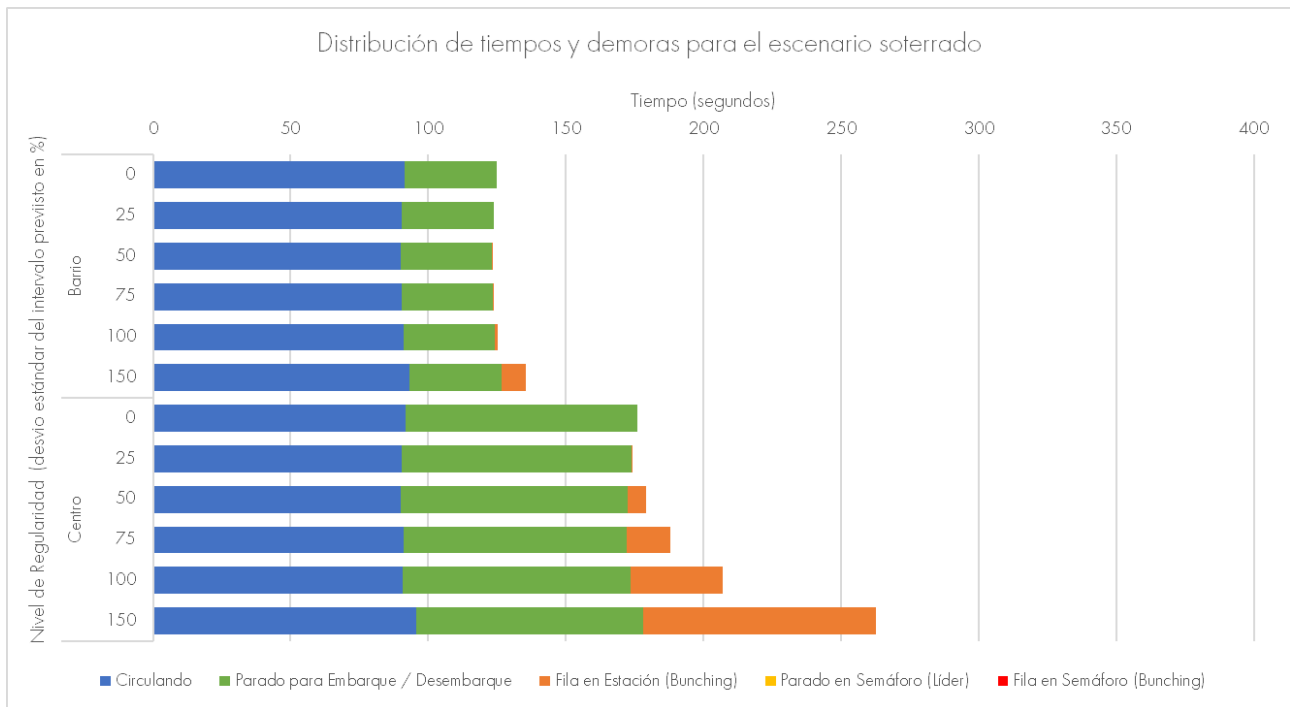


Figura 140. Distribución de tiempos y demoras para el escenario soterrado. Fuente: Elaboración propia.

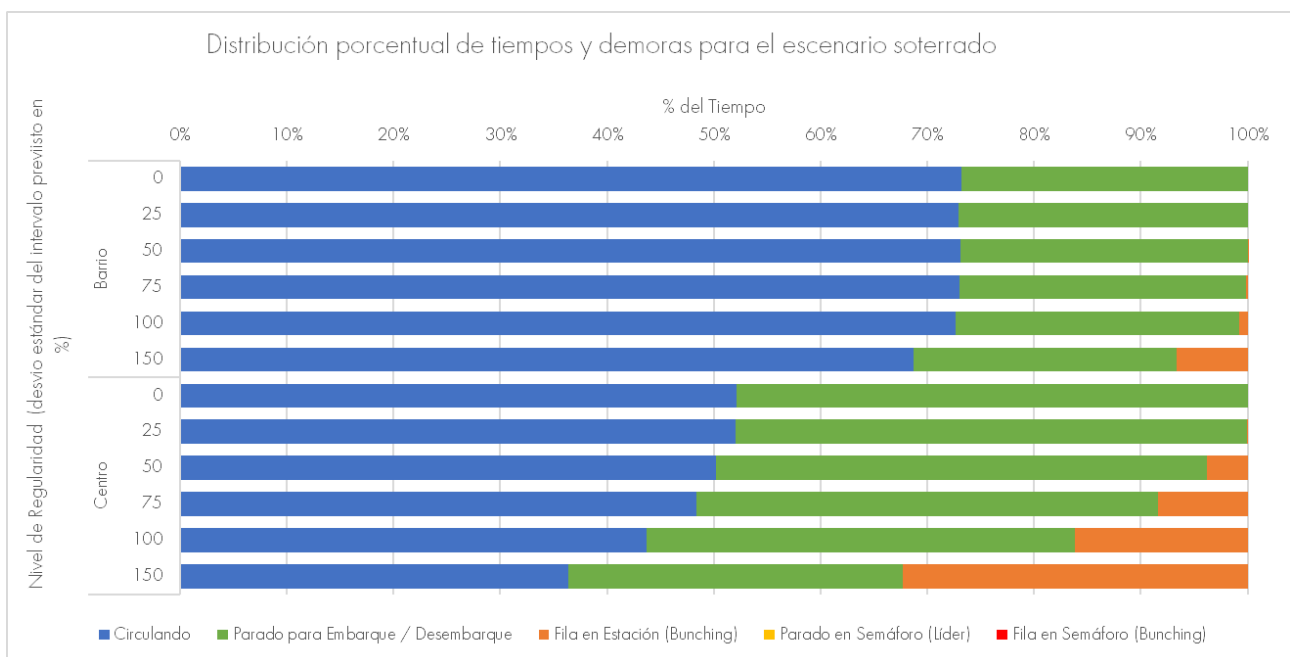


Figura 141. Distribución de tiempos y demoras para el escenario en superficie. Fuente: Elaboración propia.



Complementariamente, la Figura 142 y la Figura 143 exponen, respectivamente, la distribución total y porcentual para los escenarios en superficie, permitiendo visualizar cómo aumentan los tiempos totales, incluso para la situación en circulación. Adicionalmente, aparecen tiempos de demora en semáforo, tanto como líder como en fila.

Aquí se repite el patrón de mayores demoras para embarque y desembarque en el sentido crítico hacia el centro para el pico mañana. Y también se destaca la aparición de demoras por bunching desde niveles de regularidad a partir de 50 y 57 en el sentido centro, comparativamente mayores que en el sentido barrio.

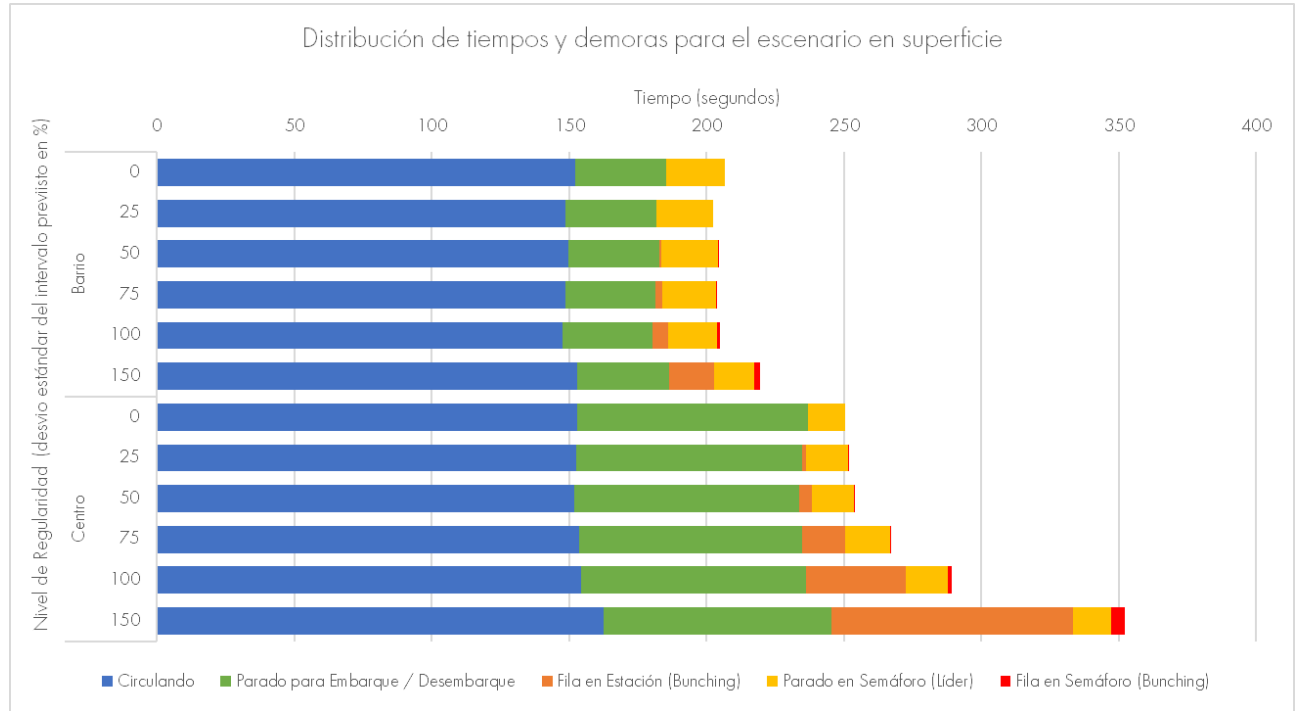


Figura 142. Distribución porcentual de tiempos y demoras para el escenario en soterrado. Fuente: Elaboración propia.

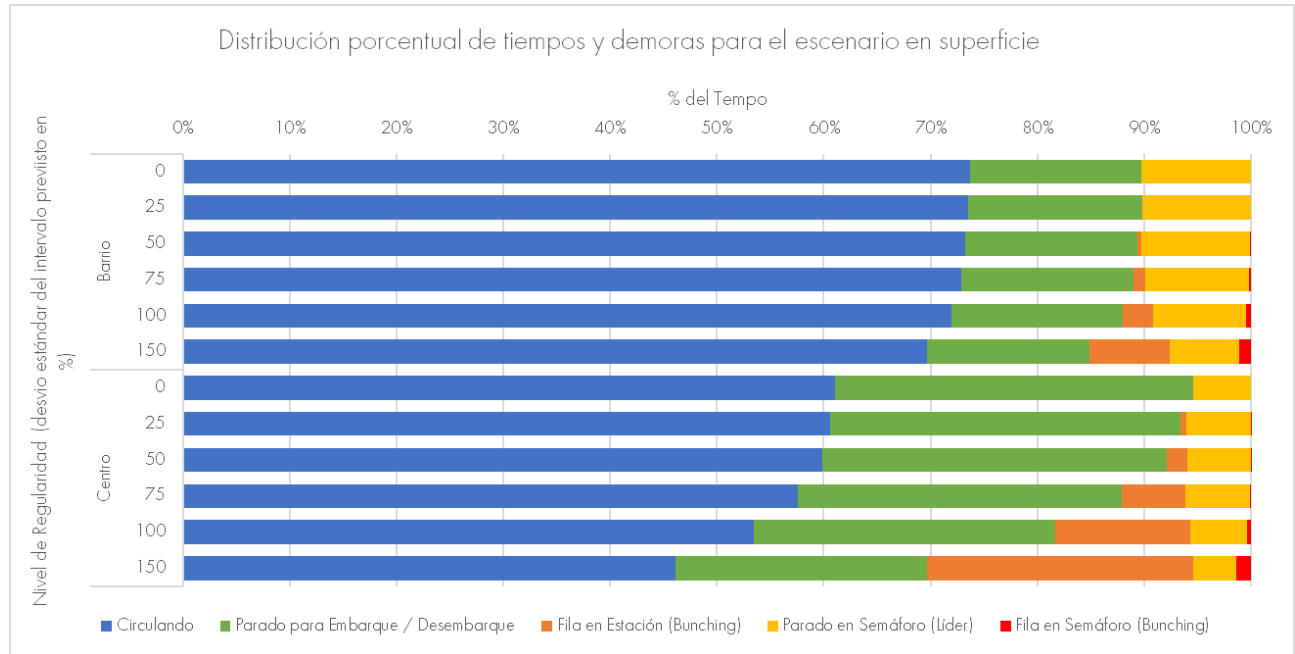


Figura 143. Distribución porcentual de tiempos y demoras para el escenario en superficie. Fuente: Elaboración propia.



La Tabla 42 y la Figura 144 muestran un resumen del análisis de sensibilidad de las diferencias de desempeño global de la operación entre los distintos escenarios, con los tiempos totales promedio.

Tabla 42. Tiempos medios totales de viaje por vehículo (segundos).

Regularidad (% desvío intervalos)	Soterrado – Barrio (segundos)	Soterrado - Centro (segundos)	Superficie - Barrio (segundos)	Superficie - Centro (segundos)
0	106,29	149,54	175,53	212,88
25	107,35	150,63	175,24	218,01
50	106,68	155,42	177,09	219,82
75	107,35	162,93	176,64	231,39
100	108,50	179,47	177,55	250,53
150	117,50	227,63	190,22	305,22

Fuente: Elaboración propia.

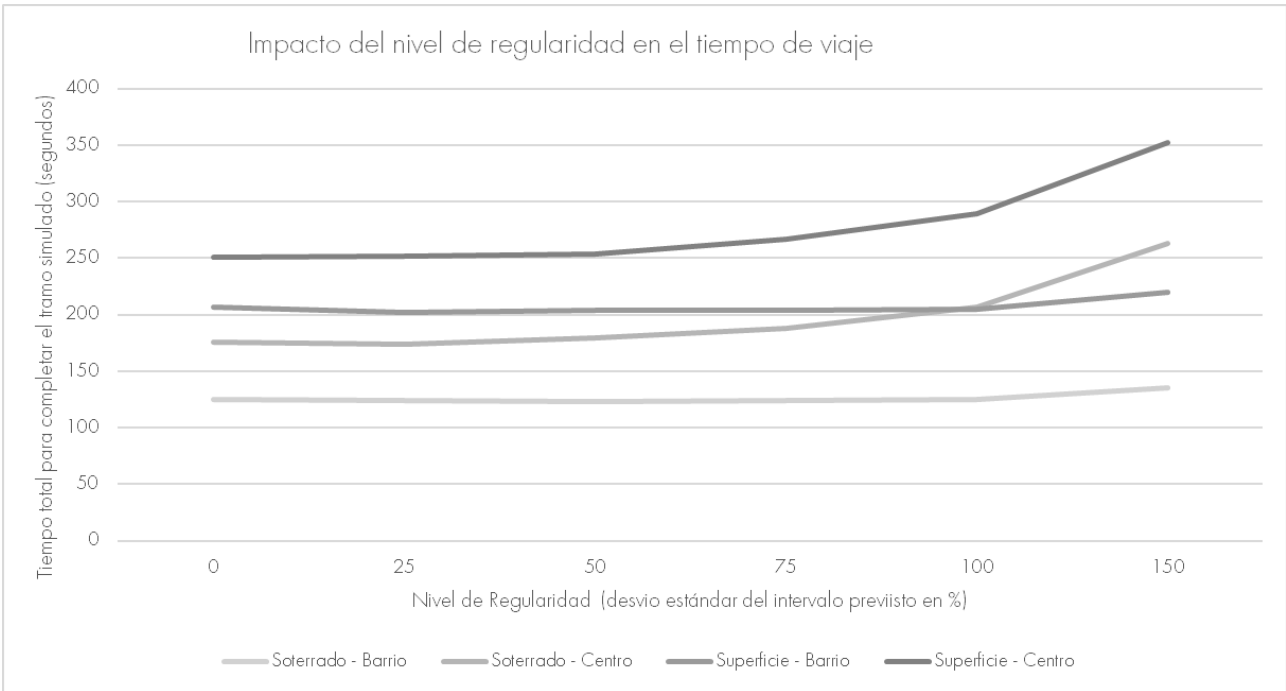


Figura 144. Impacto del nivel de regularidad en el tiempo de viaje. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Figura 145 y la Figura 146 presentan la variación absoluta y porcentual, respectivamente, con relación al escenario base (intervalos uniformes con 0% de variabilidad), lo que permite aislar el impacto directo del estrés operativo: mientras el sentido barrio presenta variaciones marginales y en algunos puntos negativas, el sentido centro experimenta un crecimiento exponencial del retraso adicional, superando los 100 segundos de demora incremental en el escenario de superficie al 150% de irregularidad, lo que corresponde a aumentos del orden de 30% respecto a la operación totalmente uniforme.



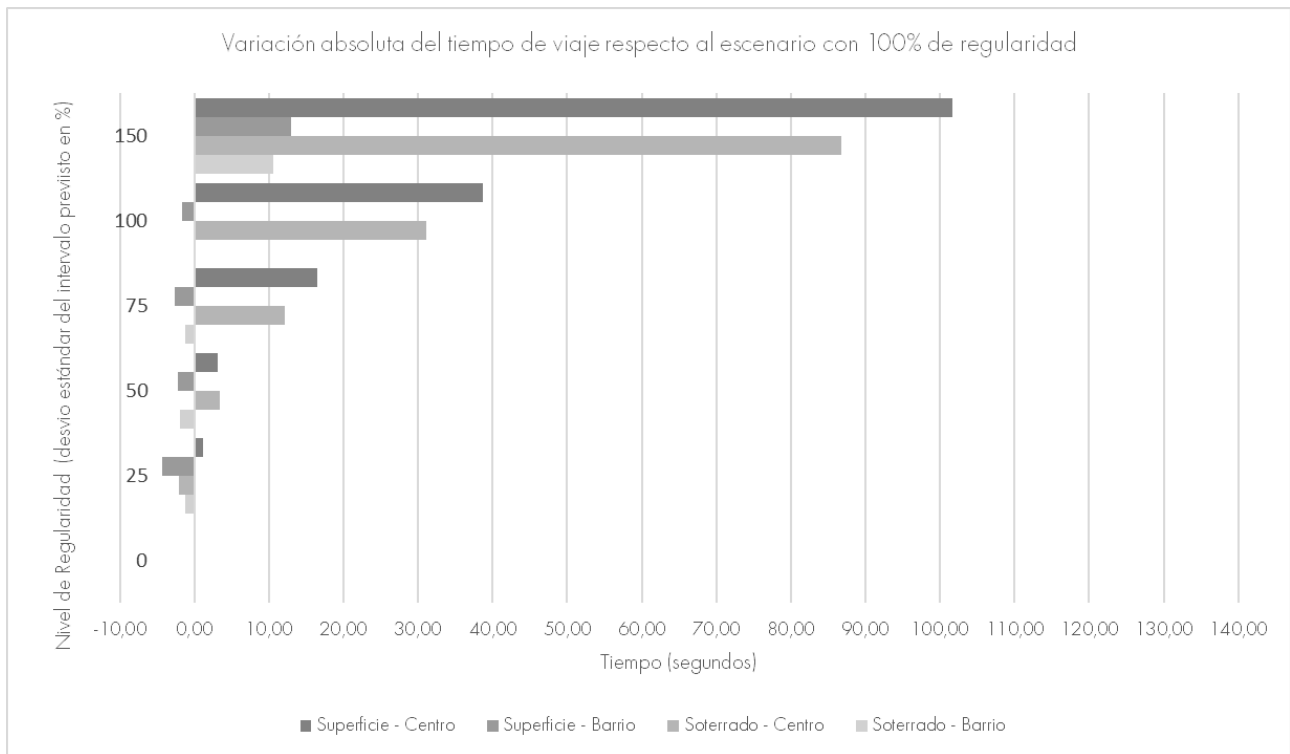


Figura 145. Variación incremental del tiempo de viaje con relación al escenario base. Fuente: Elaboración propia.

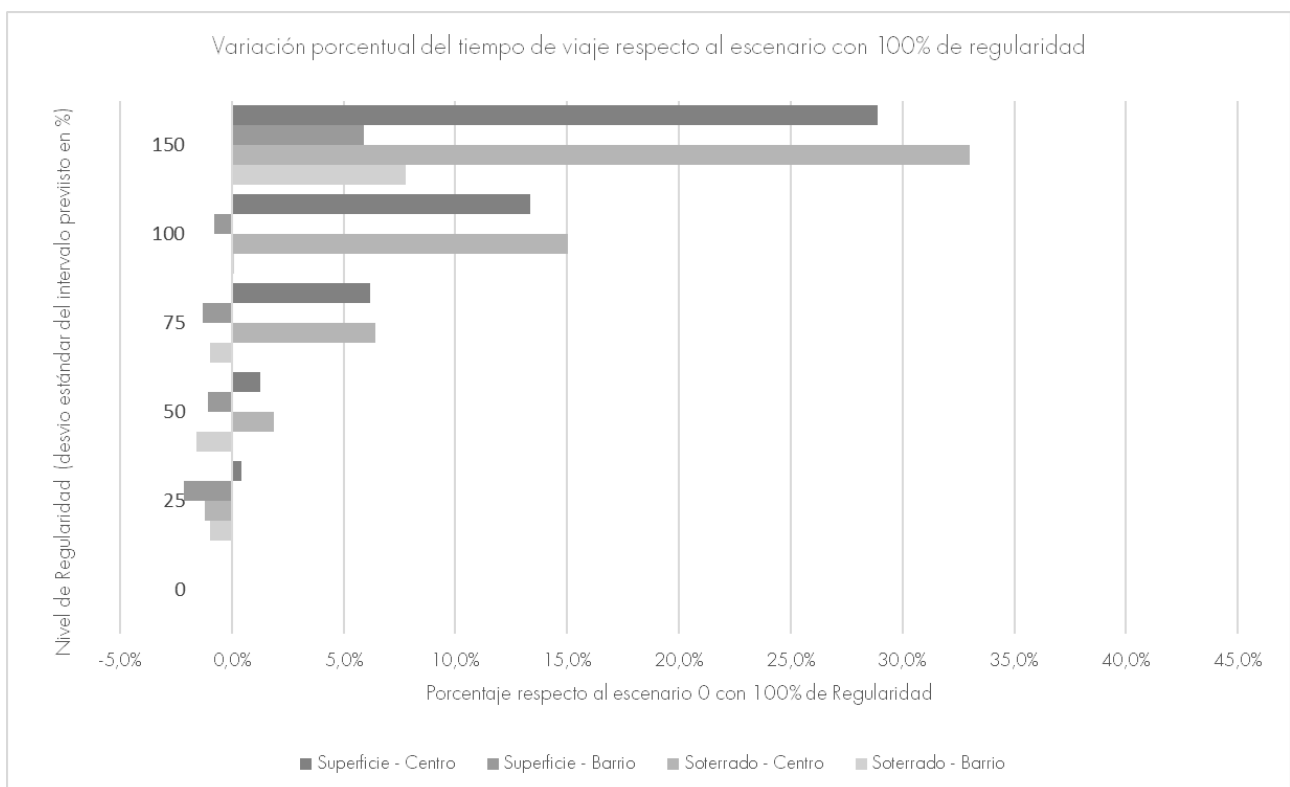


Figura 146. Variación porcentual del tiempo de viaje respecto al escenario con 100% de regularidad



12.4.1. Configuración 2: aumento de oferta de servicios troncales para evaluar expansión de capacidad del tramo de 18 de Julio

También se utilizó la microsimulación para realizar un análisis de estrés del desempeño del corredor en una configuración de una demanda y una oferta de servicios troncales 50% más elevadas. Ese análisis tiene como objetivo representar una situación equivalente a la incorporación de una oferta adicional, dado que también está planificada la implementación de un corredor BRT en Av. Giannattasio – Av. Italia, cuyos servicios troncales compartirán el tramo de la Av. 18 de Julio junto con los servicios del eje Con Maldonado – 8 de Octubre. Los estudios preliminares apuntan la necesidad de una capacidad adicional de aproximadamente 15 vehículos biarticulados por hora por sentido oriundos de Av. Italia, motivo por el cual se adoptó para esta configuración el incremento de 50% de oferta y de demanda en 18 de Julio, totalizando una frecuencia de 40 biarticulados por hora por sentido para representar el orden de magnitud esperado.

Usando la misma categorización de los datos según los estados operativos presentados anteriormente, se obtuvo la distribución del tiempo promedio de viaje por vehículo para los mismos niveles de regularidad anteriormente planteados de 0%, 25%, 50%, 75%, 100% y 150%. Los resultados detallados con el promedio de todos los vehículos para las 10 rodadas de cada escenario se presentan en la Tabla 43. Para las 40 unidades por hora por sentido en la HPM, el intervalo promedio previsto equivale a 90 segundos entre cada vehículo. Al promediar los tiempos totales entre todas las unidades presentes en el enlace, se obtiene una métrica que considera la actividad global del corredor.

Tabla 43. Detalle de los componentes del tiempo medio de viaje por vehículo (segundos) para la configuración 2.

Escenario	Sentido	Regularidad (%)	Circulando	Parado para Embarque / Desembarque	Fila en Estación (Bunching)	Parado en Semáforo (Líder)	Fila en Semáforo (Bunching)	Tiempo Total	Tiempo Escenario 0
Soterrado	Barrio	0	91,30	36,15	0,00	0,00	0,00	127,45	127,45
		25	90,08	35,52	0,00	0,00	0,00	125,59	127,45
		50	91,58	35,77	0,21	0,00	0,00	127,55	127,45
		75	90,79	35,46	1,36	0,00	0,00	127,61	127,45
		100	91,62	35,41	5,33	0,00	0,00	132,36	127,45
		150	92,09	35,02	19,04	0,00	0,00	146,15	127,45
	Centro	0	91,91	92,81	0,01	0,00	0,00	184,73	184,73
		25	90,61	91,31	0,74	0,00	0,00	182,67	184,73
		50	92,25	91,26	13,86	0,00	0,00	197,36	184,73
		75	92,31	90,48	30,41	0,00	0,00	213,21	184,73
		100	93,01	89,55	52,95	0,00	0,00	235,51	184,73
		150	97,22	89,55	126,80	0,00	0,00	313,57	184,73
Superficie	Barrio	0	151,56	36,10	0,00	20,71	0,00	208,37	208,37
		25	147,90	35,62	0,49	17,95	0,10	202,06	208,37
		50	149,49	35,38	2,67	17,48	0,28	205,30	208,37
		75	151,34	35,35	4,96	17,70	0,56	209,92	208,37
		100	151,79	35,37	9,93	16,34	1,53	214,96	208,37
		150	150,12	34,99	28,98	13,38	2,51	229,98	208,37
	Centro	0	154,50	92,66	0,75	14,18	0,00	262,08	262,08
		25	153,63	91,41	4,27	14,57	0,16	264,05	262,08
		50	157,27	90,91	21,39	15,72	0,51	285,82	262,08
		75	157,58	90,73	34,81	14,98	0,75	298,85	262,08
		100	159,03	88,85	52,92	12,60	1,52	314,94	262,08
		150	164,24	89,91	121,19	13,33	7,56	396,23	262,08

Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas de la Figura 147 a la Figura 150 presentan la composición del tiempo de viaje para los escenarios soterrado y de superficie. El tipo de impacto de los distintos niveles de regularidad con 40 vehículos por hora-sentido es semejante que en la configuración anterior, pero con incremento en la magnitud de las demoras adicionales.



Comparativamente a la configuración 1, en este análisis se observan un aumento de las demoras por bunching en estaciones en el escenario soterrado, especialmente para los índices de regularidad más degradados de 100% y 150% de desvío estándar de intervalos. Y en el caso del BRT en superficie, aumentan las demoras en bunching en espera en semáforos y en fila en estaciones, también más acentuadamente en los escenarios de 100% y 150% de pérdida de regularidad.

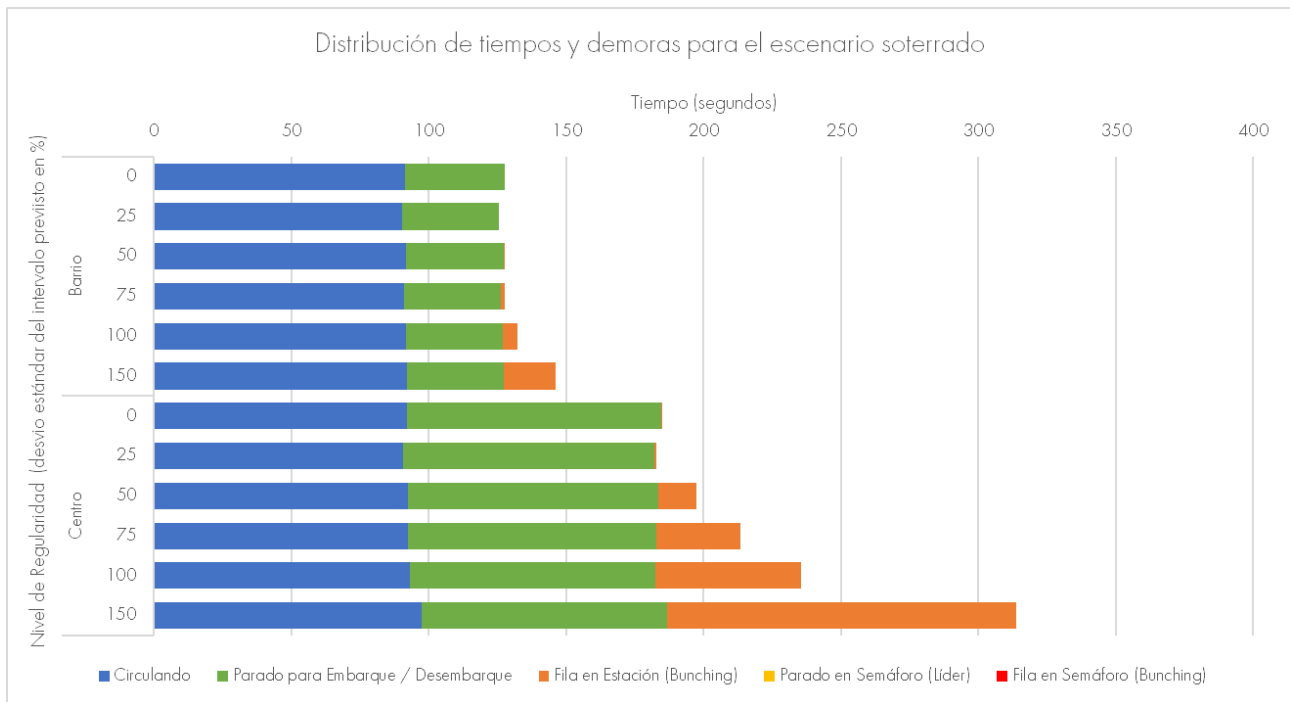


Figura 147. Distribución de tiempos y demoras para el escenario soterrado - configuración 2. Fuente: Elaboración propia.

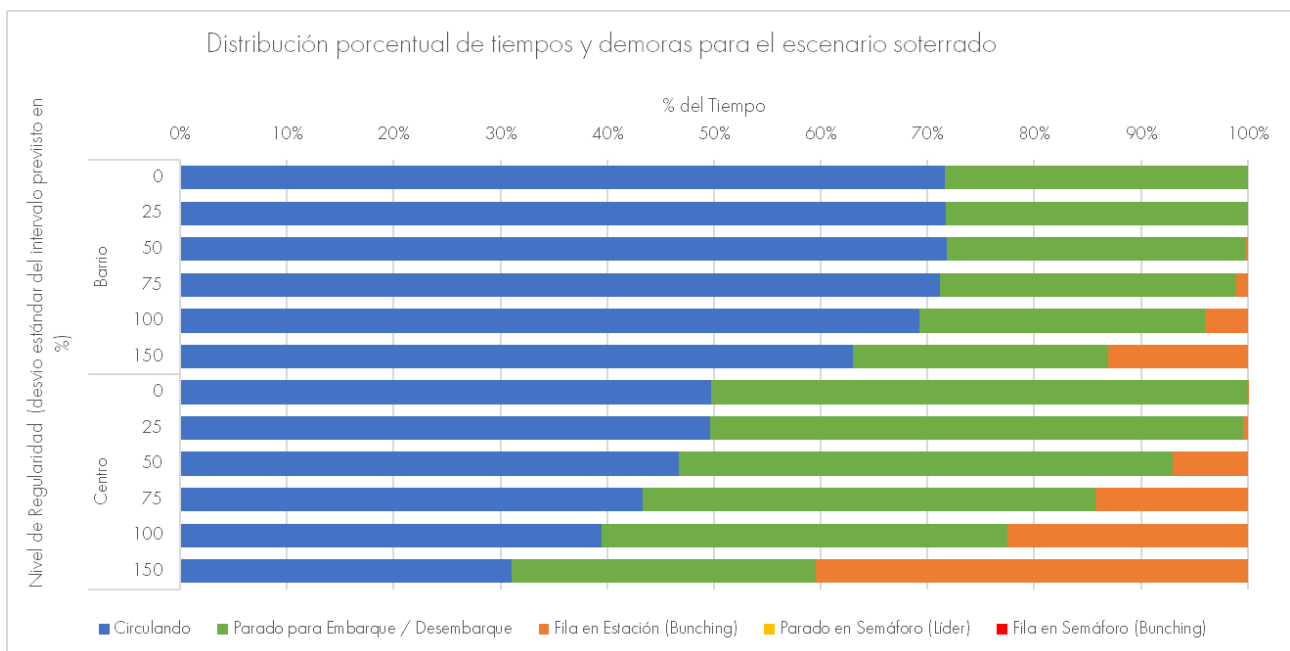


Figura 148. Distribución de tiempos y demoras para el escenario en superficie - configuración 2. Fuente: Elaboración propia.



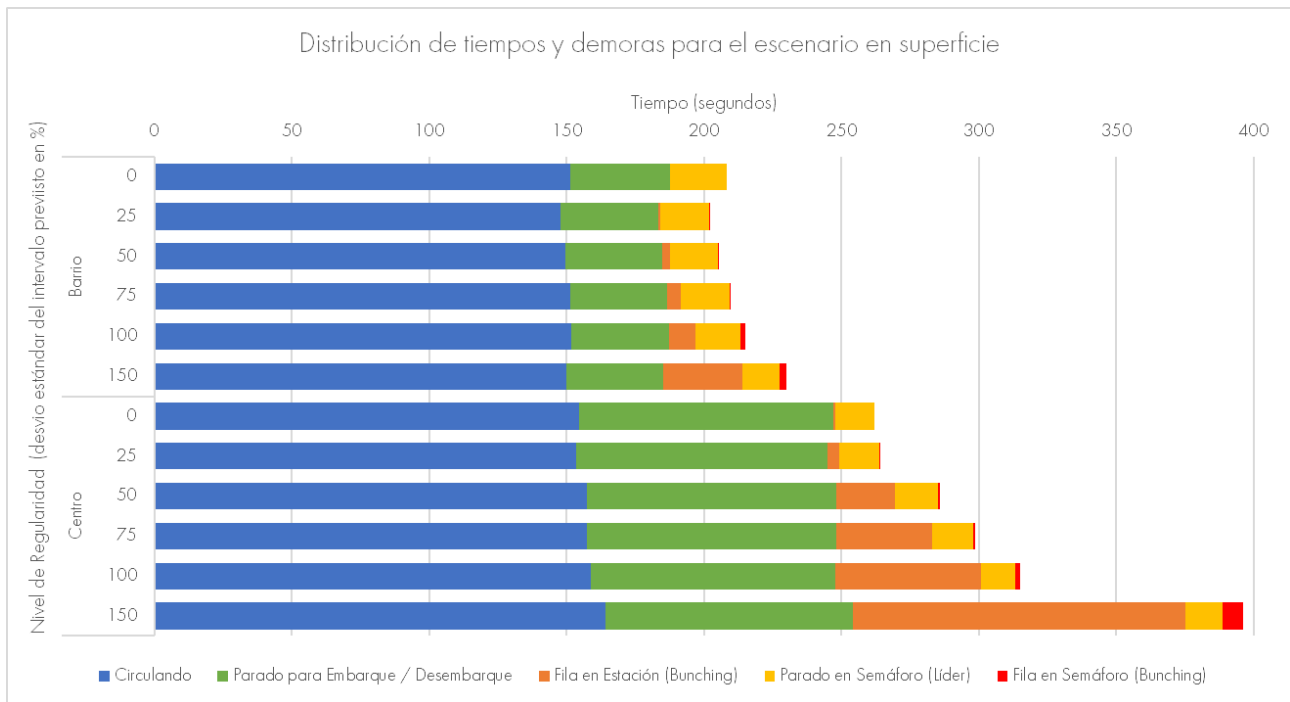


Figura 149. Distribución porcentual de tiempos y demoras para el escenario en soterrado - configuración 2. Fuente: Elaboración propia.

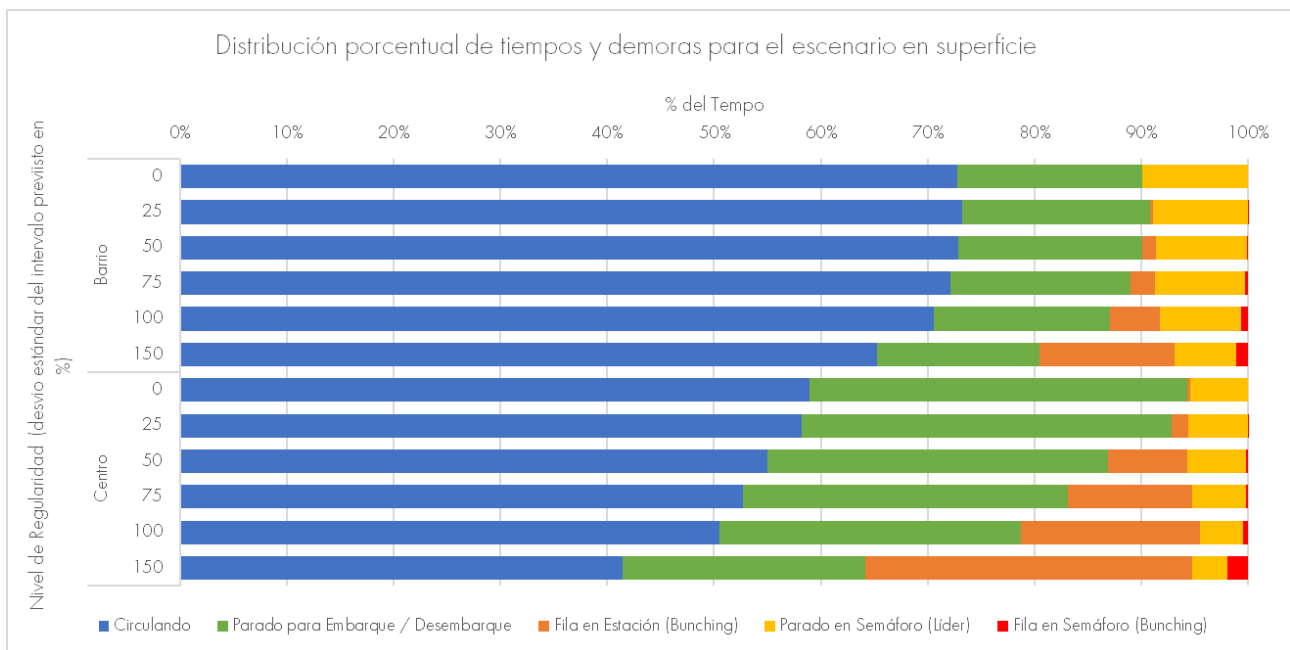


Figura 150. Distribución porcentual de tiempos y demoras para el escenario en superficie -configuración 2. Fuente: Elaboración propia.



La Tabla 44 y la Figura 151 muestran un resumen del análisis de sensibilidad de las diferencias de desempeño global de la operación entre los distintos escenarios para la configuración 2 con oferta de 40 vehículos por hora por sentido, con los tiempos totales promedio.

Tabla 44. Tiempos medios totales de viaje por vehículo (segundos) en la configuración 2.

Regularidad (% desvío intervalos)	Soterrado – Barrio (segundos)	Soterrado – Centro (segundos)	Superficie – Barrio (segundos)	Superficie – Centro (segundos)
0	127,45	184,73	208,37	262,08
25	125,59	182,67	202,06	264,05
50	127,55	197,36	205,30	285,82
75	127,61	213,21	209,92	298,85
100	132,36	235,51	214,96	314,94
150	146,15	313,57	229,98	396,23

Fuente: Elaboración propia.

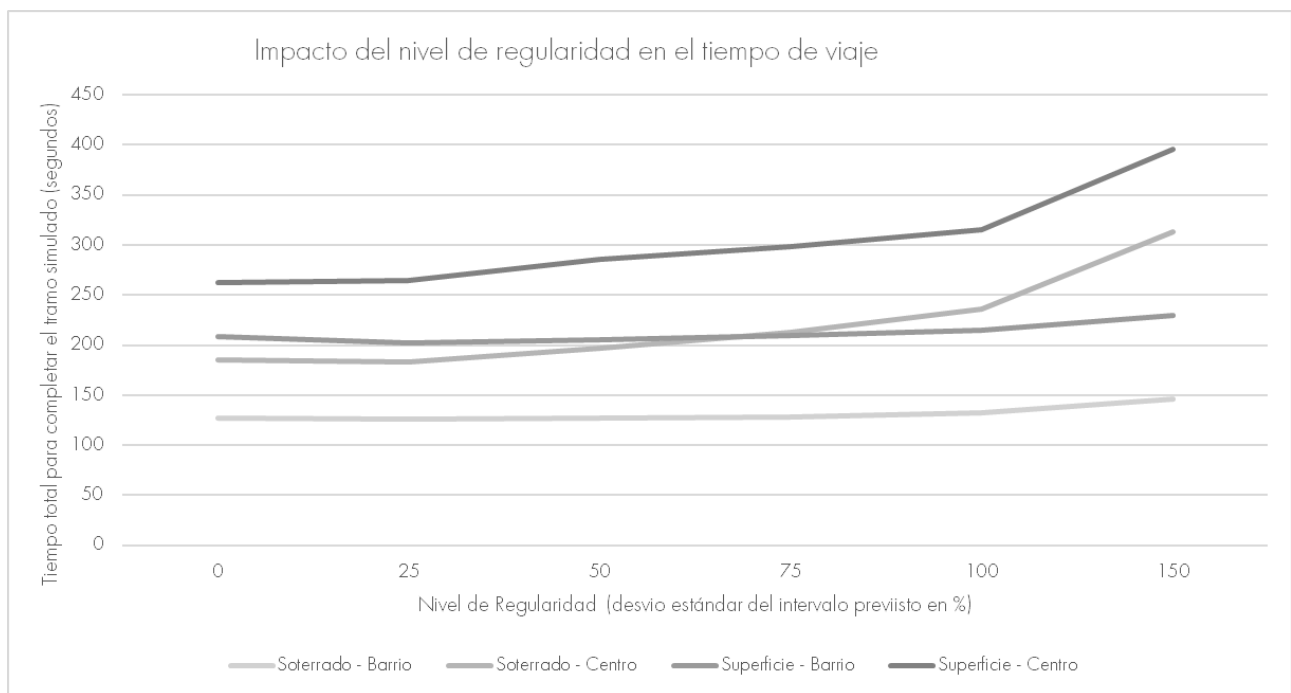


Figura 151. Impacto del nivel de regularidad en el tiempo de viaje en la configuración 2. Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, la Figura 152 y la Figura 153 presentan la variación absoluta y porcentual, respectivamente, con relación al escenario base (intervalos uniformes con 0% de variabilidad). Al comparar ambas configuraciones, constatamos que el tiempo total sufre de un aumento porcentual todavía más elevado, especialmente para el escenario de 150%, cuando la oferta sube de 26 a 40 vehículos por hora-sentido: mientras en la configuración 1 (intervalo promedio de 138 segundos) la pérdida de regularidad implica en tiempos totales cercanos a 30% más elevados, en la configuración 2 (intervalo de 90 segundos entre unidades) ese incremento en el tiempo total alcanza rangos entre 34% y 41% (superficie y soterrado, respectivamente).



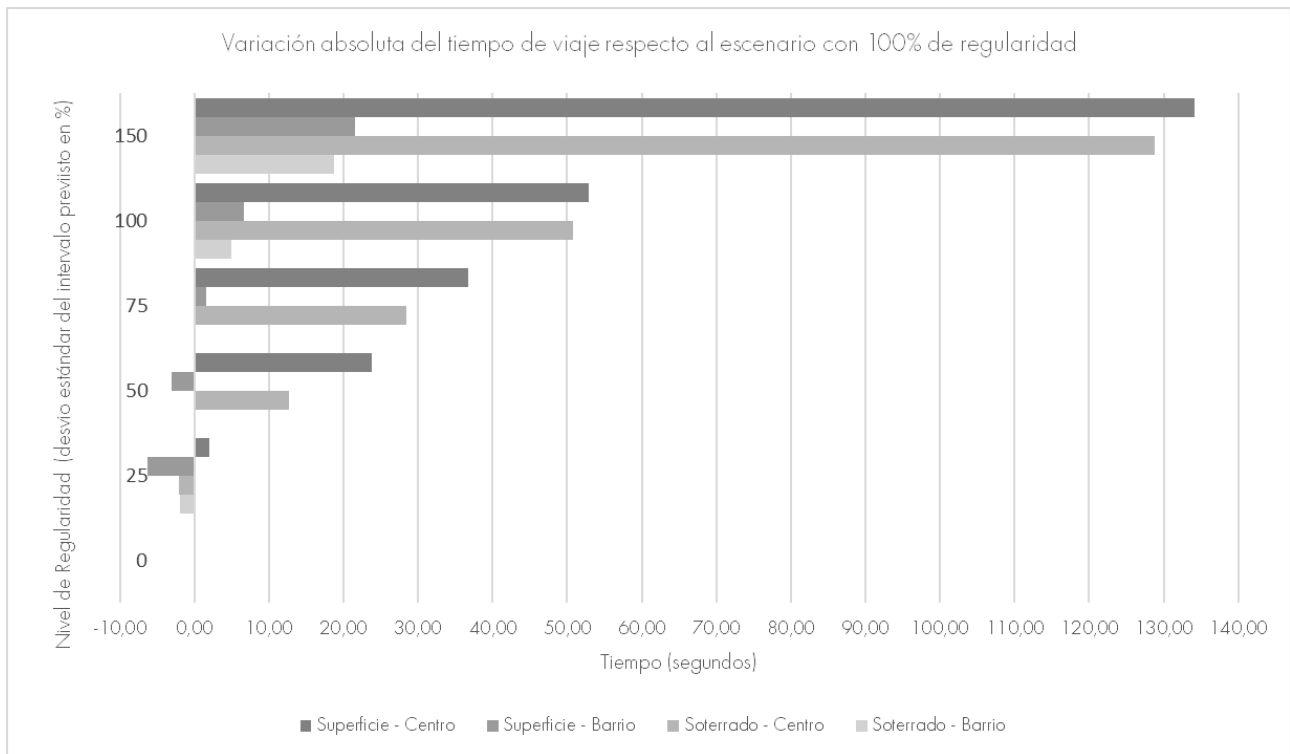


Figura 152. Variación incremental del tiempo de viaje con relación al escenario base en la configuración 2. Fuente: Elaboración propia.

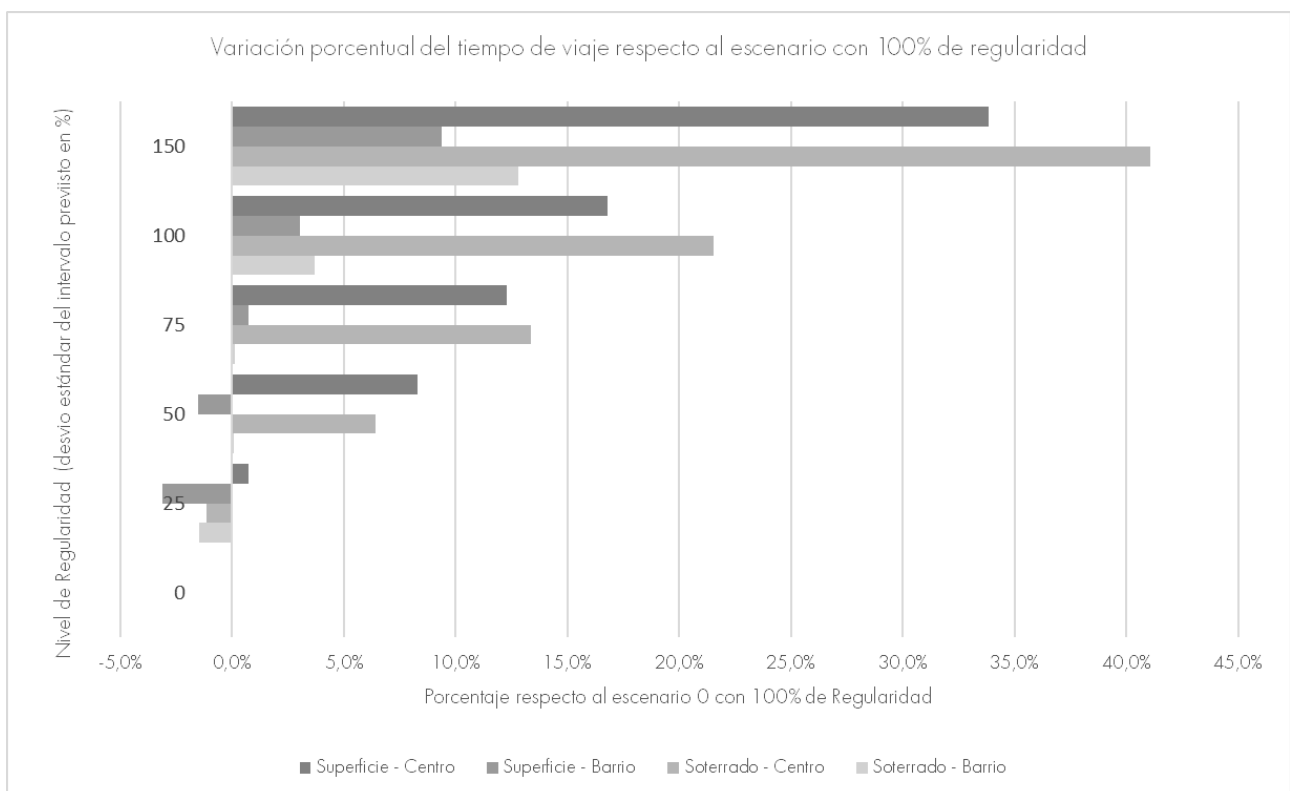


Figura 153. Variación porcentual del tiempo de viaje respecto al escenario con 100% de regularidad en la configuración 2.



12.4.2. Conclusiones del Análisis de Microsimulación

Los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema presenta un comportamiento resiliente y estable hasta el umbral de los 50% a 75% de desvío estándar en los intervalos de paso para el nivel de regularidad. A partir de este punto, inicia un efecto de saturación en cadena que afecta principalmente a las plataformas de parada en el sentido centro para la hora pico mañana. Mientras que el sentido barrio logra absorber las fluctuaciones de la flota con variaciones marginales y tiempos de viaje controlados, el sentido centro se consolida como el sector más crítico del corredor para la HPM. En este sentido, la pérdida de regularidad genera un crecimiento exponencial de las demoras, donde el tiempo promedio por vehículo se ve penalizado por la formación de colas, evidenciando que la capacidad del sistema para recuperar la estabilidad operativa disminuye bajo niveles de estrés regularidad superiores al 100% de desvío estándar en los intervalos.

En el análisis comparativo entre tipologías de infraestructura, el escenario de superficie manifiesta el desempeño más crítico. Considerando la configuración con oferta de 26 unidades por hora-sentido (sólo troncales de 8 de Octubre), alcanza un tiempo promedio de 352 segundos bajo el nivel de estrés del 150% para el tramo de aprox. 1 km simulado. Este valor, que corresponde a un aumento de 29% respecto a una operación totalmente uniforme sin pérdida de regularidad, refleja un estado de saturación operativa donde la combinación de Fila en Estación (Bunching) y Fila en Semáforo (Bunching) interfiere visiblemente en el flujo continuo de las unidades.

Por otro lado, aunque el escenario soterrado mantiene tiempos absolutos menores, con un máximo de 263 segundos, experimenta una degradación relativa significativa del 33% cuando la regularidad decae 150% respecto a la situación de referencia de intervalos totalmente uniformes. Este incremento, impulsado exclusivamente por el agrupamiento de unidades en las estaciones (ante la ausencia de semáforos), resalta una conclusión fundamental para el proyecto: la infraestructura segregada por sí sola no garantiza la eficiencia total si no se acompaña de una gestión de flota activa que controle los intervalos y preserve la capacidad operativa de las paradas.

El análisis de estrés, cuando se simula un incremento de 50% en la oferta y en la demanda, busca anticipar efectos de la incorporación de servicios troncales de Av. Italia compartiendo el tramo de Av. 18 de Julio con los servicios troncales de Av 8 de Octubre. En esa configuración los impactos son similares en el patrón de comportamiento de la operación, pero con magnitud más acentuada. Las demoras por filas (bunching) sufren incrementos absolutos y porcentuales más elevados, y los tiempos totales de viaje en el tramo de 1 km que fue simulado aumentan en 34% y 41% para los escenarios en superficie y soterrado, respectivamente.

