



# ALTERNATIVAS DE PRIORIZACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL ÁREA CÉNTRICA DE MONTEVIDEO

**Informe final**

**Noviembre 2025**

Revisión	Fecha	Responsables elaboración	Responsable de aprobación	Comentarios
0	12/10/2025	Ing. E. Gómez	MSc. Ing. A. Casares	Informe final.
1	10/11/2025	Ing. E. Gómez	MSc. Ing. A. Casares	Informe final ajustado.
2	19/11/2025	Ing. E. Gómez	MSc. Ing. A. Casares	Informe final con ajustes en secciones 3.2.2, 6.1.1 y 6.6.
3	25/11/2025	Ing. E. Gómez	MSc. Ing. A. Casares	Informe final con ajustes en sección 3.2.2.

# Índice

1.	Antecedentes .....	8
2.	Introducción .....	9
3.	Identificación de alternativas .....	10
3.1.	Características generales del sistema .....	10
3.2.	Criterios de decisión .....	11
3.2.1.	Accesibilidad y centralidad .....	12
3.2.2.	Sección transversal .....	12
3.2.3.	Viabilidad de cruces inferiores .....	13
3.3.	Descripción general del área céntrica .....	18
3.3.1.	18 de Julio .....	19
3.3.2.	Colonia .....	21
3.3.3.	Mercedes .....	23
3.4.	Selección de alternativas viables .....	25
4.	Descripción de alternativas seleccionadas .....	26
4.1.	A0 Soterramiento completo en 18 de Julio .....	26
4.2.	A1 BRT en superficie por 18 de Julio .....	29
4.3.	A1-S BRT en superficie por 18 de Julio con pasos inferiores .....	33
4.4.	A2 BRT en superficie por Colonia y Mercedes .....	35
4.5.	A2-S BRT en superficie por Colonia y Mercedes con pasos inferiores .....	38
4.6.	A3 BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia .....	41
4.7.	A3-S BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia con pasos inferiores .....	46
5.	Viabilidad de soterramiento total en 18 de Julio .....	50
5.1.	Condiciones geológico-geotécnicas .....	50
5.2.	Descripción de métodos constructivos .....	50
5.2.1.	Métodos constructivos seleccionables .....	51
5.2.2.	Métodos constructivos propuestos .....	52
5.3.	Definición de sección tipo .....	55
5.4.	Instalaciones de seguridad .....	58
5.5.	Conclusiones .....	59
6.	Construcción de matriz multivariable .....	60
6.1.	Técnicas .....	61

6.1.1.	Riesgos constructivos .....	61
6.1.2.	Requerimientos tecnológicos específicos .....	63
6.2.	Urbanas y ambientales .....	70
6.2.1.	Impacto durante obras.....	70
6.2.2.	Impacto ambiental en la operación.....	84
6.2.3.	Integración urbana .....	90
6.2.4.	Impacto sobre servicios.....	111
6.3.	Operativas.....	123
6.3.1.	Velocidad promedio esperada .....	124
6.3.2.	Regularidad del servicio .....	129
6.3.3.	Afectación de otros usuarios.....	132
6.3.4.	Robustez ante afectaciones operativas.....	136
6.4.	Estratégicas.....	138
6.4.1.	Plazo de ejecución estimado .....	138
6.4.2.	Interferencia con eventos urbanos .....	150
6.4.3.	Flexibilidad ante crecimiento futuro .....	152
6.5.	Económicas .....	154
6.5.1.	Costo de obras civiles .....	154
6.5.2.	Costo anual de operación y mantenimiento .....	173
6.6.	Análisis de robustez .....	175
7.	Conclusiones.....	181
7.1.	Metodologías constructivas para el túnel .....	181
7.2.	Valoración de las alternativas analizadas .....	182

## ANEXO I Estudio de Viabilidad Soterramiento BRT

# Índice de figuras

Figura 1-1 Líneas de biarticulados en propuesta del Centro de Investigaciones Económicas.....	8
Figura 3-1 Esquema de sección transversal para pasos inferiores de calles transversales con dos carriles inferiores. ....	14
Figura 3-2 Esquema de sección transversal para pasos inferiores de calles transversales con un carril inferior.....	15
Figura 3-3 Esquema de cálculo de pendientes.....	16
Figura 3-4 Esquema de paso inferior en 8 de Octubre y Luis Alberto de Herrera. ....	17
Figura 3-5 Área céntrica de Montevideo y barrios de Montevideo.....	18
Figura 3-6 Principales calles en sentido Este - Oeste. ....	19
Figura 3-7 18 de Julio entre Andes y Convención, vista hacia el Este.....	20
Figura 3-8 18 de Julio entre Tristán Narvaja y Eduardo Acevedo, vista hacia el Este. ....	20
Figura 3-9 Ancho de calzada actual en 18 de Julio.....	21
Figura 3-10 Colonia entre Tristán Narvaja y Eduardo Acevedo, vista hacia el Oeste. ....	22
Figura 3-11 Colonia entre Paraguay y Rondeau, vista hacia el Oeste.....	22
Figura 3-12 Ancho de calzada actual en Colonia.....	23
Figura 3-13 Mercedes entre Convención y Río Branco, vista hacia el Este.....	24
Figura 3-14 Víctor Haedo entre República y Defensa, vista hacia el Este.....	24
Figura 3-15 Ancho de calzada actual en Mercedes.....	25
Figura 4-1 Corte trasversal de la Alternativa A0 en 18 de Julio y Yaguarón. ....	27
Figura 4-2 Corte trasversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Constituyente. ....	27
Figura 4-3 Corte trasversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Constituyente, con cabina de bajada. ....	28
Figura 4-4 Corte trasversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas.....	28
Figura 4-5 Corte trasversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas, con cabina de bajada.....	29
Figura 4-6 Corte trasversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano.....	30
Figura 4-7 Corte trasversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano, con estación.....	30
Figura 4-8 Corte trasversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente.....	31
Figura 4-9 Corte trasversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente, con estación.....	31
Figura 4-10 Corte trasversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas.....	32
Figura 4-11 Corte trasversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas, con estación. ....	32
Figura 4-12 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea ..	34
Figura 4-13 Esquema de planimetría en Estación Intendencia.....	34
Figura 4-14 Esquema de planimetría en Estación Fernández Crespo.....	35
Figura 4-15 Corte trasversal de la Alternativa A2 en Colonia. ....	35
Figura 4-16 Corte trasversal de la Alternativa A2 en Colonia, con estación. ....	36

Figura 4-17 Corte transversal de la Alternativa A2 en Mercedes. ....	36
Figura 4-18 Corte transversal de la Alternativa A2 en Mercedes, con estación. ....	37
Figura 4-19 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT Colonia. ....	39
Figura 4-20 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT Mercedes. ....	39
Figura 4-21 Esquema de planimetría en Ejido - Yaguarón para BRT Colonia.....	40
Figura 4-22 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para BRT Colonia. ....	40
Figura 4-23 Esquema de planimetría en Ejido - Yaguarón para BRT Mercedes.....	41
Figura 4-24 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para BRT Mercedes. ....	41
Figura 4-25 Corte transversal de la Alternativa A3 en Colonia. ....	42
Figura 4-26 Corte transversal de la Alternativa A3 en Colonia, con estación. ....	42
Figura 4-27 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano. ....	43
Figura 4-28 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano, con estación. ....	43
Figura 4-29 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente. ....	44
Figura 4-30 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente, con estación.....	44
Figura 4-31 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas. ....	45
Figura 4-32 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas, con estación. ....	45
Figura 4-33 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT Colonia ....	47
Figura 4-34 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT 18 de Julio ....	47
Figura 4-35 Esquema de planimetría en Ejido - Yaguarón para BRT Colonia.....	48
Figura 4-36 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para BRT Colonia ....	48
Figura 4-37 Esquema de planimetría en Estación Intendencia para BRT 18 de Julio ....	48
Figura 4-38 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Daniel Fernández Crespo para BRT 18 de Julio ....	49
Figura 5-1 . Sección tipo 3 carriles. Cut&Cover (Baja cobertera).....	56
Figura 5-2 Sección tipo 3 carriles. NATM ....	57
Figura 5-3 Sección tipo 3 carriles - Tunneladora. Diámetro de excavación $\varnothing=14,55$ m ....	57
Figura 6-1 Escala utilizada para comparación de alternativas .....	60
Figura 6-2 Sostenimiento provisional en bóveda y apuntalamiento de longarinas según el Método Belga. ....	66
Figura 6-3 Tunneladora EPB para suelos blandos. ....	67
Figura 6-4 Vista ejecución de losa superior Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025.....	69
Figura 6-5 Proporción de viajes en modos de transporte seleccionados por sexo .....	91
Figura 6-6 Foto acera sur 18 de Julio con paradas y peatones .....	93

Figura 6-7 Foto acera norte 18 de Julio con quioscos y peatones .....	93
Figura 6-8 Mapa de movilidad activa actual .....	94
Figura 6-9 Mapa de densidad de viviendas por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2023.....	95
Figura 6-10 Mapa de densidad de viviendas por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2011.....	96
Figura 6-11 Mapa de densidad de población por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2023.....	97
Figura 6-12 Mapa de densidad de población por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2011.....	97
Figura 6-13 Esquema de conectividad de la variante A0 .....	99
Figura 6-14 Esquema de conectividad de la variante A1 .....	102
Figura 6-15 Esquema de conectividad de la variante A2 .....	105
Figura 6-16 Esquema de conectividad de la variante A3 .....	108
Figura 6-17 Colector Av.Rondeau-Gutierrez Ruiz y 18 de Julio.....	112
Figura 6-18 Velocidades operativas medias en varios sistemas, por tipo de modo. ....	127
Figura 6-19 Tiempos de operación en 18 de Julio, para alternativas en superficie en hora punta AM. ....	128
Figura 6-20 Maniobras simuladas de desvío de biarticulados en 18 de Julio – Paraguay y Paraguay – Mercedes.....	137
Figura 6-21 Esquema ejecución paradas mediante NATM .....	159
Figura 6-22 Perfil longitudinal. C&C en accesos.....	160
Figura 6-23 Matriz de valoración de variables por alternativa. ....	176
Figura 6-24 Matriz de promedios de cada área por alternativa. ....	176
Figura 6-25 Porcentajes de escenarios ganados por alternativa. ....	177
Figura 6-26 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas. ....	178
Figura 6-27 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas y de costos. ....	178
Figura 6-28 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas y urbanas y ambientales. ....	179
Figura 6-29 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas y de estratégicas. ....	179

## Índice de tablas

Tabla 3-1 Anchos de faja pública en calles transversales a corredor.	13
Tabla 3-2 Pendientes necesarias en las transiciones de los pasos inferiores.	15
Tabla 6-1 Calificación de alternativas respecto a la riesgos constructivos	63
Tabla 6-2 Calificación de alternativas respecto a requerimientos constructivos	70
Tabla 6-3 Actividades por fase del proyecto – fase constructiva	71
Tabla 6-4 Identificación de impactos potenciales por actividad	72
Tabla 6-5 Evaluación de impactos por alternativa	76
Tabla 6-6 Significancia de los impactos potenciales por alternativa – asignación numérica	79
Tabla 6-7 Significancia de impactos potenciales por alternativa – cualitativo	81
Tabla 6-8 Lineamientos de medidas de mitigación	83
Tabla 6-9 Evaluación de alternativas – fase constructiva	84
Tabla 6-10 Actividades para la fase de operación	85
Tabla 6-11 Identificación de impactos potenciales por actividad – operación	86

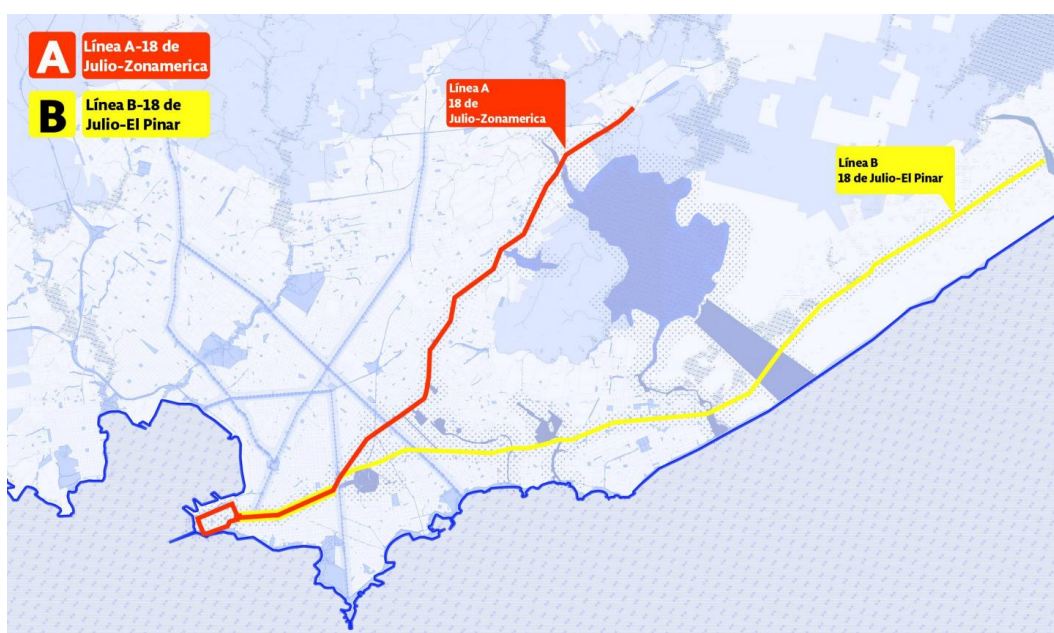
Tabla 6-12 Evaluación de impactos por alternativa – operación	87
Tabla 6-13 Significancia de los impactos potenciales por alternativa – asignación numérica – operación	88
Tabla 6-14 Significancia de impactos potenciales por alternativa – cualitativo – operación	89
Tabla 6-15 Evaluación de alternativas – fase de operación	90
Tabla 6-16 Calificación de alternativas respecto a integración urbana	111
Tabla 6-17 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje	113
Tabla 6-18 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable	114
Tabla 6-19 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile	114
Tabla 6-20 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile	114
Tabla 6-21 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo	114
Tabla 6-22 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo	115
Tabla 6-23 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Ejido	115
Tabla 6-24 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Ejido	115
Tabla 6-25 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Fernández Crespo	116
Tabla 6-26 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Fernández Crespo	116
Tabla 6-27 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Mercedes y Ejido	117
Tabla 6-28 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Mercedes y Ejido	117
Tabla 6-29 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Mercedes y Fernández Crespo	117
Tabla 6-30 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Mercedes y Fernández Crespo	117
Tabla 6-31 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile	118
Tabla 6-32 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile	118
Tabla 6-33 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo	118
Tabla 6-34 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo	119
Tabla 6-35 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Ejido	119
Tabla 6-36 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Ejido	119
Tabla 6-37 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Fernández Crespo	119
Tabla 6-38 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Fernández Crespo	120
Tabla 6-39 Interferencias con la red de media tensión (6 kV, 22 kV y 31,5kV)	121
Tabla 6-40 Interferencias con la red de alta tensión (150kV)	122
Tabla 6-41 Indicador de desempeño de impacto sobre servicios	122
Tabla 6-42 Calificación de alternativas respecto impacto en otros servicios	123

Tabla 6-43 Estimación de tiempos de demora adicional por intersecciones, señalización y conflicto con otros vehículos sugerida.	126
Tabla 6-44 Estimaciones de VOP por alternativa para hora punta de la mañana.	127
Tabla 6-45 Calificación de alternativas respecto a la VOP.	129
Tabla 6-46 Calificación de alternativas respecto a la regularidad esperada.	132
Tabla 6-47. Indicadores de afectación a los usuarios por alternativa	135
Tabla 6-48 Calificación de alternativas respecto a la afectación a otros usuarios.	136
Tabla 6-49 Calificación de alternativas respecto a la robustez frente a afectaciones operativas.	138
Tabla 6-50 Rendimientos de construcción	139
Tabla 6-51 Evaluación tiempos de construcción por tramos según las metodologías constructivas seleccionadas para las combinaciones establecidas	141
Tabla 6-52 Plazo Combinación 1	142
Tabla 6-53 Plazo Combinación 2	143
Tabla 6-54 Plazo Combinación 3	144
Tabla 6-55 Plazo Alternativa A1-S	145
Tabla 6-56 Plazo Alternativa A2-S	146
Tabla 6-57 Plazo Alternativa 3a	148
Tabla 6-58 Plazo alternativas A1, A2 y A3	149
Tabla 6-59 Resumen de tiempos de obra por alternativa	149
Tabla 6-60 Evaluación de impacto de interrupciones en 18 de Julio – Año 2024	151
Tabla 6-61 Calificación de alternativas respecto a la interferencia con eventos urbanos.	152
Tabla 6-62 Calificación de alternativas respecto a la flexibilidad frente a crecimiento de demanda.	154
Tabla 6-63 Combinación de elementos de diseño y metodologías constructivas	158
Tabla 6-64 Valoración económica por tramos según las metodologías constructivas seleccionadas para las combinaciones establecidas	164
Tabla 6-65 Costos Alternativa – 18 de Julio en dos sentidos	167
Tabla 6-66 Costos Alternativa – 18 de Julio en un sentido	167
Tabla 6-67 Costos Alternativa – Colonia	168
Tabla 6-68 Costos Alternativa – Mercedes	168
Tabla 6-69 Costos afectación infraestructura de drenaje y red de agua potable por alternativa	168
Tabla 6-70 Macroprecios de obras civiles por alternativa	171
Tabla 6-71 Calificación de alternativas respecto a costos de obras civiles preliminares.	172
Tabla 6-72 Calificación de alternativas respecto a costos de operación y mantenimiento diferencial, en USD anuales.	175
Tabla 7-1 Evaluación multicriterio de las alternativas analizadas	184

## 1. Antecedentes

En octubre de 2024, el Centro de Investigaciones Económicas (CINVE) presentó una propuesta integral de transformación del sistema de transporte metropolitano, cuyo eje estructurador son dos líneas de biarticulados de alta frecuencia con circulación exclusiva. Estas líneas—identificadas como Línea A (Zonamérica – Ciudad Vieja) y Línea B (El Pinar – Ciudad Vieja)—recorren los principales corredores de la ciudad, incluyendo Av. 8 de Octubre, Av. Italia y Av. 18 de Julio, articulando así los flujos urbanos y suburbanos. Los vehículos biarticulados, de aproximadamente 25 metros de longitud, operan con validación previa en paradas cerradas y una alta frecuencia: 30 servicios por hora en la Línea A (cada 2 minutos) y 15 en la Línea B (cada 4 minutos) en horarios de pico de demanda, con capacidad para más de 200 pasajeros por unidad.

**Figura 1-1 Líneas de biarticulados en propuesta del Centro de Investigaciones Económicas.**



*Fuente: CINVE (2024).*

La propuesta plantea una transformación sustancial en Av. 18 de Julio, que constituye el principal corredor compartido por ambas líneas troncales. En este tramo se proyecta la creación de un túnel exclusivo para el transporte público entre un intercambiador subterráneo en la Plaza de la Bandera y Plaza Independencia, lo que permitiría reducir significativamente los tiempos de recorrido. También se prevé la reconfiguración del espacio urbano con la ampliación de veredas, la incorporación de una ciclovía en la acera norte a lo largo de todo el eje y el acondicionamiento general del entorno peatonal. El rediseño incluye restricciones al tránsito particular y ajustes en el trazado de otras líneas para favorecer el funcionamiento eficiente del sistema troncal.

En el marco de esta propuesta, y considerando la magnitud de la intervención prevista en el eje de Av. 18 de Julio, el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) encomendó a la empresa CSI la realización de un estudio técnico comparativo de alternativas al túnel proyectado en dicho tramo. El objetivo de este encargo es evaluar otras posibles configuraciones que permitan alcanzar mejoras similares en términos de eficiencia, capacidad y calidad del servicio, minimizando al mismo tiempo los costos, impactos urbanos y dificultades constructivas.

asociadas a una solución soterrada. Este análisis se inserta como un insumo estratégico para la toma de decisiones en el proceso de diseño y priorización de las inversiones.

## 2. Introducción

La zona céntrica de Montevideo constituye el núcleo funcional, comercial y simbólico de la ciudad. A lo largo de los últimos años, sin embargo, la acumulación de flujos peatonales, vehiculares, actividades comerciales, eventos culturales y manifestaciones sociales ha generado allí tiempos de viaje altos especialmente en el transporte público. En este contexto, mejorar la circulación en el centro no es sólo una cuestión de eficiencia operativa, sino una condición necesaria para recuperar su rol estratégico en el sistema urbano.

El área comprendida entre Tres Cruces y Plaza Independencia —atravesada principalmente por la avenida 18 de Julio— representa uno de los tramos más críticos del sistema actual de transporte público de la ciudad. Allí se concentra la mayor cantidad de líneas de pasajeros de toda la red. Esta franja, con sus particularidades físicas, operativas y simbólicas, constituye el cuello de botella del sistema, pero también representa su mayor oportunidad de mejora.

Frente a este escenario, cualquier estrategia de transformación del sistema de transporte público debe considerar la mejora de las condiciones de circulación del transporte público en el centro, y más específicamente, la reducción significativa de los tiempos de viaje en dicho tramo. En este sentido, priorizar al transporte público en el diseño y la gestión del espacio vial céntrico no es sólo una opción deseable: es una condición imprescindible para su recuperación.

La presente consultoría se centra en identificar y caracterizar desde una perspectiva multidisciplinaria las posibles alternativas de circulación para servicios troncales de alta capacidad entre Tres Cruces y Plaza Independencia. Las variables principales que han sido utilizadas para realizar el análisis están agrupadas en cinco dimensiones y se presentan a continuación:

### Técnicas

- Riesgos constructivos (interferencia con redes de servicios, excavación profunda, asentamientos).
- Requerimientos tecnológicos específicos (ventilación, iluminación, drenaje, seguridad).

### Urbanas y ambientales

- Impacto durante obras: accesibilidad, afectación al comercio y movilidad.
- Impacto durante la operación.
- Integración urbana.
- Impacto sobre servicios.

### Operativas

- Velocidad promedio esperada.
- Regularidad del servicio.

- Afectación sobre otros usuarios: movilidad activa, otras líneas de transporte público, privados.
- Robustez ante eventos críticos (lluvias intensas, cortes de energía, manifestaciones populares)

#### **Temporales y estratégicas**

- Plazo de ejecución estimado.
- Interferencias con eventos urbanos (comercio, turismo, residencial).
- Flexibilidad ante crecimiento futuro de la demanda.

#### **Económicas**

- Costo estimado de la obra civil (USD/km).
- Costo anual de operación y mantenimiento.

### **3. Identificación de alternativas**

La definición de alternativas de circulación para el transporte público en el área céntrica de Montevideo requiere un análisis integral que considere simultáneamente las condiciones físicas del espacio vial, la funcionalidad de la red existente y las demandas de accesibilidad de la población. En este capítulo se presentan las opciones de trazado y configuración operativa que, en función de criterios técnicos, urbanos y operativos, pueden responder de forma eficiente a los desafíos actuales de movilidad en el tramo comprendido entre Tres Cruces y Plaza Independencia.

El capítulo se estructura a partir de cuatro componentes principales. En primer lugar, se describen las características generales del sistema que definen el estándar de calidad esperado para el corredor BRT, independientemente de su ubicación. Luego se detallan los criterios de decisión aplicados para descartar o priorizar ejes, considerando accesibilidad, centralidad, sección transversal y viabilidad de cruces a desnivel. Posteriormente, se expone una descripción general del área céntrica, con énfasis en las particularidades físicas y funcionales de las calles 18 de Julio, Colonia y Mercedes. Finalmente, se presentan las alternativas viables seleccionadas, que constituirán la base para el análisis comparativo posterior.

El análisis desarrollado en este capítulo permite establecer un marco claro de posibilidades a partir de las condiciones reales del área céntrica y de los requerimientos operativos del sistema BRT. La identificación de corredores y configuraciones factibles sienta las bases para un estudio comparativo riguroso, donde cada alternativa será evaluada según un conjunto de criterios previamente definidos. En la siguiente sección se presenta la selección de aquellas opciones que, por su viabilidad técnica y funcional, constituyen la base para el desarrollo de las propuestas en detalle.

#### **3.1. Características generales del sistema**

Las alternativas analizadas en el presente estudio se enmarcan en la planificación de una red de transporte público estructurada a partir de dos líneas troncales principales, que conectan la zona céntrica de Montevideo con los corredores urbanos de mayor demanda: una línea que continúa por la avenida 8 de Octubre y otra que lo hace por la avenida Italia. Esta red se concibe bajo un

esquema de Bus Rapid Transit (BRT), un sistema de transporte masivo que combina la capacidad y eficiencia de un modo ferroviario con la flexibilidad de los ómnibus, mediante la implementación de infraestructura y operación especializada para mejorar significativamente los tiempos de viaje, la confiabilidad del servicio y la experiencia del usuario.

Independientemente de la traza específica y de las condiciones físicas de circulación, todas las alternativas comparten un conjunto de características operativas y de diseño que definen el estándar de calidad esperado para el sistema:

- **Sistema cerrado:** el diseño del sistema como corredor abierto o cerrado tiene un impacto fundamental en las operaciones. En un sistema abierto, diferentes servicios pueden entrar y salir del corredor lo que lleva a que la interacción de los ómnibus en las intersecciones de acceso y salida al corredor aumenta significativamente. Esto reduce la capacidad y la velocidad de operación del corredor. En este caso se consideran corredores cerrados donde únicamente las líneas de los corredores BRT utilizarán el carril exclusivo.
- **Tipo de corredor:** todas las alternativas consideran que los servicios troncales deben operar sobre carriles exclusivos. Garantizar la exclusividad de circulación es fundamental para obtener velocidades comerciales elevadas, evitar la congestión y asegurar una frecuencia estable, pilares de todo sistema BRT efectivo.
- **Tipo de estación:** las paradas estarán ubicadas entre 400 y 600 metros. El ingreso a la unidad será a nivel y la validación del pago del viaje será externa. Este mecanismo reduce significativamente el tiempo de detención en cada parada, elimina el cuello de botella que implica el ascenso por una sola puerta y mejora la regularidad del servicio, especialmente en momentos de alta demanda.
- **Tecnología de vehículos:** se utilizarán de ómnibus biarticulados eléctricos con puertas de ambos lados. El sistema estará servido por vehículos de gran capacidad, con disposición de puertas tanto a la derecha como a la izquierda, lo que permite flexibilidad en el diseño de estaciones (centrales o laterales). El ascenso y descenso se realizará por todas las puertas habilitadas en cada caso, reduciendo tiempos de abordaje y distribuyendo mejor a los pasajeros dentro del vehículo.
- **Tipo de intersecciones:** se priorizará al transporte público mediante en las intersecciones semaforizadas o pasos a desnivel. En caso de mantener intersecciones semaforizadas, las alternativas consideran la implementación de sistemas de prioridad que permitan minimizar las detenciones de los biarticulados en los cruces. Esta estrategia contribuye a mejorar la velocidad comercial, reducir la variabilidad del tiempo de viaje y mantener la frecuencia programada.
- **Operación:** No se prevén servicios exprés, es decir, todas las líneas paran en las todas las estaciones disponibles y no se contempla la posibilidad de realizar adelantamiento dentro del corredor.

### 3.2. Criterios de decisión

En esta sección se presentan los criterios considerados para la definición y descarte de alternativas, a fin de identificar un conjunto reducido de opciones viables para su análisis detallado. Se definen tres dimensiones clave: la accesibilidad y centralidad, que refiere a la cercanía del corredor propuesto respecto a las principales actividades urbanas; las condiciones

físicas, que evalúan la factibilidad de implementar un perfil transversal adecuado sin afectar funciones urbanas esenciales; y la viabilidad de cruces a desnivel, que considera la posibilidad técnica y operativa de resolver determinadas intersecciones mediante soluciones soterradas. Estos criterios permiten discriminar entre alternativas posibles e inviables, en función de sus impactos sobre el sistema de transporte público y el entorno urbano.

### **3.2.1. Accesibilidad y centralidad**

La avenida 18 de Julio constituye el eje estructurante del centro de Montevideo, tanto por su centralidad geográfica como por su concentración de funciones urbanas, equipamientos, flujos peatonales y conexiones de transporte. Su carácter de columna vertebral del sistema vial y su papel como corredor natural de desplazamientos la posicionan como el principal punto de atracción y cruce de pasajeros en la ciudad. La accesibilidad directa del transporte público a este eje es un factor clave para garantizar cobertura, eficiencia y equidad en el sistema.

Las soluciones que desplazan el transporte público hacia calles paralelas comprometen la accesibilidad del sistema, en tanto incrementan las distancias de caminata para una proporción significativa de usuarios y reducen la cercanía entre el servicio y los principales polos de atracción. Esto impacta negativamente sobre la experiencia del viaje, especialmente para personas mayores, con movilidad reducida o con cargas. La distancia de caminata agregada por la ubicación del corredor se vuelve más relevante aún al considerar que las paradas del sistema BRT se encuentran a mayor distancia que las actuales lo que de por sí ya aumentará los trayectos caminados.

En términos de viabilidad espacial, sólo las calles ubicadas al norte de 18 de Julio —en particular Colonia y Mercedes— cuentan con continuidad longitudinal suficiente entre Tres Cruces y Plaza Independencia. Al sur, San José y Soriano presentan interrupciones antes de llegar a Constituyente, lo que limita su uso como corredores troncales. Más al norte, Uruguay y Paysandú tampoco ofrecen continuidad funcional, además de alejarse del área central de mayor intensidad urbana. Estas limitaciones físicas y funcionales refuerzan la necesidad de priorizar soluciones que mantengan el transporte público lo más próximo posible al eje de 18 de Julio.

Por este motivo, las calles que serán consideradas para la definición de alternativas son 18 de Julio, Colonia y Mercedes.

### **3.2.2. Sección transversal**

La evaluación de alternativas de circulación para el transporte público en el área central de Montevideo requiere, como paso previo, el análisis detallado de las condiciones físicas de cada eje vial. La disponibilidad de espacio transversal —es decir, el ancho útil de calzada entre veredas— es una de las principales restricciones para la implantación de corredores de alta capacidad. Determinar la viabilidad geométrica de cada propuesta permite descartar aquellas configuraciones que, por limitaciones espaciales, resultan incompatibles con un estándar de calidad mínimo o generan impactos urbanos inaceptables.

Para ello, se definieron anchos de referencia para cada componente del sistema, en función de las necesidades operativas, de seguridad y confort de los usuarios, así como de las definiciones técnicas establecidas en el proyecto original del sistema BRT. Se considera indispensable

garantizar un ancho de 3,5 metros por carril exclusivo de buses, que asegure el pasaje de ómnibus biarticulados en condiciones normales. Las estaciones se proyectan con un ancho de 4,0 metros cuando atienden ambos sentidos de circulación, o de 3,5 metros cuando lo hacen en un único sentido.

Los carriles de tránsito general se estiman entre 2,7 y 3,0 metros de ancho, mientras que las bicisendas segregadas deben contar con 1,65 metros por sentido, incluyendo el espacio para separadores físicos, tal como en el perfil actual de 18 de Julio. Se deberá mantener la bicisenda de 18 de Julio en todas las alternativas, al menos, es el tramo en el que se encuentra actualmente (entre Carlos Quijano y Bv. Artigas).

Las veredas, por su parte, deben conservar un ancho mínimo de 2,0 metros, siendo deseable mantener las dimensiones existentes para no comprometer la circulación peatonal ni la accesibilidad a frentes comerciales. Por definición, no se contemplan alternativas que requieran expropiaciones, debido a la complejidad legal, operativa y urbana que implicaría su ejecución en un entorno denso y patrimonialmente protegido como el centro de la ciudad.

### 3.2.3. Viabilidad de cruces inferiores

La complejidad espacial y operativa que presenta el centro de Montevideo hace necesario considerar alternativas que incluyan soluciones a desnivel para asegurar la fluidez del sistema de transporte público. La densidad del tejido urbano, la alta concentración de actividades y la multiplicidad de interferencias en superficie justifican la evaluación de opciones que permitan mitigar los conflictos entre distintos modos y mejorar la regularidad de la operación. En este contexto, se analizaron dos variantes principales: el pasaje inferior de las calles transversales al eje del corredor, y el pasaje inferior del propio corredor BRT.

La primera opción considerada fue la construcción de pasos inferiores para las calles transversales, permitiendo que el flujo de vehículos particulares cruce por debajo del eje principal del BRT, que permanecería en superficie.

A partir de la identificación de los flujos actuales de transporte público y privado en las calles trasversales a 18 de Julio se ha observado que las siguientes son las que presentan mayor cantidad de movimientos diarios, y son, por lo tanto, las candidatas a recibir un paso inferior. Se coloca el ancho de faja disponible en cada una de ellas.

**Tabla 3-1 Anchos de faja pública en calles trasversales a corredor.**

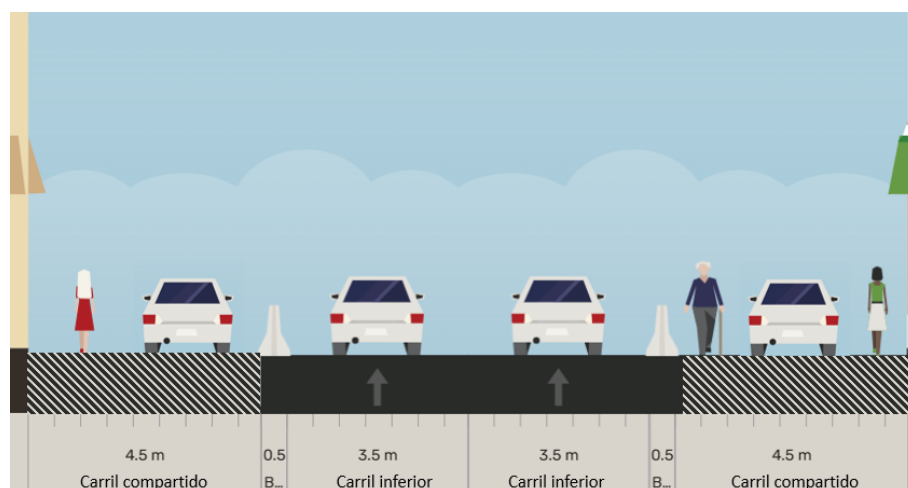
Calle	Ancho (m)
Fernández Crespo	14
Eduardo Acevedo	17
Ejido	17
Yaguarón	17
Magallanes	13
Minas	13
Paraguay	17
Río Negro	15

*Fuente: elaboración propia.*

En las transiciones entre el nivel de superficie y el paso inferior se debe repartir el ancho de faja disponible entre los carriles que circulen por debajo de la superficie, los peatones a nivel de superficie y los vehículos que deban acceder a los edificios, comercios y domicilios en las veredas.

La figura siguiente presenta una posible sección transversal de transición hacia el paso inferior que permitiría mantener la movilidad actual. La sección está conformada por una calzada central de 7,0 metros de ancho correspondiente al pasaje inferior a la avenida 18 de Julio, compuesta por dos carriles de circulación. A ambos lados se disponen muros estructurales de 0,50 metro de espesor, seguidos por calzadas compartidas entre peatones y vehículos de 4,5 metros de ancho. El ancho total es de 17 metros.

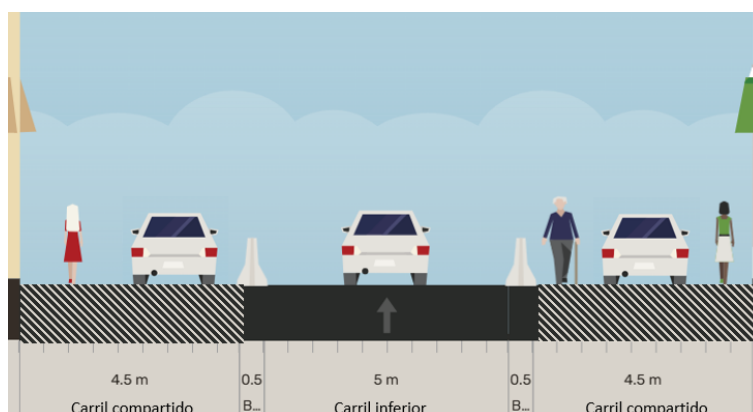
**Figura 3-1 Esquema de sección transversal para pasos inferiores de calles transversales con dos carriles inferiores.**



*Fuente: elaboración propia.*

Este perfil es posible ejecutarse en varias de las calles presentadas en la Tabla 3-1. La consideración de vías de servicio laterales con tráfico compartido de vehículos y peatones tiene como objetivo permitir a los vehículos acceder a viviendas y parking, ya que en estos puntos los vehículos no cruzarían a nivel la Avenida 18 de Julio. Para colocar el paso a desnivel en las calles con ancho de faja menor a los 17 metros es posible reducir a uno los carriles del pasaje inferior lo que implicaría una reducción de la capacidad del paso de los vehículos (ver figura siguiente). Esta reducción implicaría un descenso en el nivel de servicio para el tráfico transversal propuesto que podría atenuarse con la ausencia del estacionamiento y del semáforo en la intersección con la Avenida 18 de Julio.

**Figura 3-2 Esquema de sección transversal para pasos inferiores de calles transversales con un carril inferior.**



*Fuente: elaboración propia.*

Se analizan a continuación las rampas necesarias para vincular el nivel de superficie y el del paso inferior. Se ha considerado que la diferencia entre el nivel de la superficie en 18 de Julio y del paso inferior en el mismo punto será de 5 metros: 4,5 metros de gálibo y 0,5 metros de estructura. Se ha tomado como hipótesis de longitud máxima de la rampa que ésta deba terminar 10 metros antes de llegar al cruce de la calle paralela a 18 de Julio. Esto permitiría que la rampa no interfiera con la circulación de las calles paralelas (Colonia, San José y Guayabos) además de permitir al menos a un vehículo que espere en la fila del semáforo si estar en una pendiente ascendiente.

Para determinar las pendientes requeridas para que se cumplan estas condiciones se midieron las alturas de las intersecciones en cuatro de las principales calles trasversales. Las alturas se midieron a partir del modelo digital de superficie generado a partir de datos LiDAR generado en el marco del relevamiento aéreo realizado en el año 2024 del departamento de Montevideo.

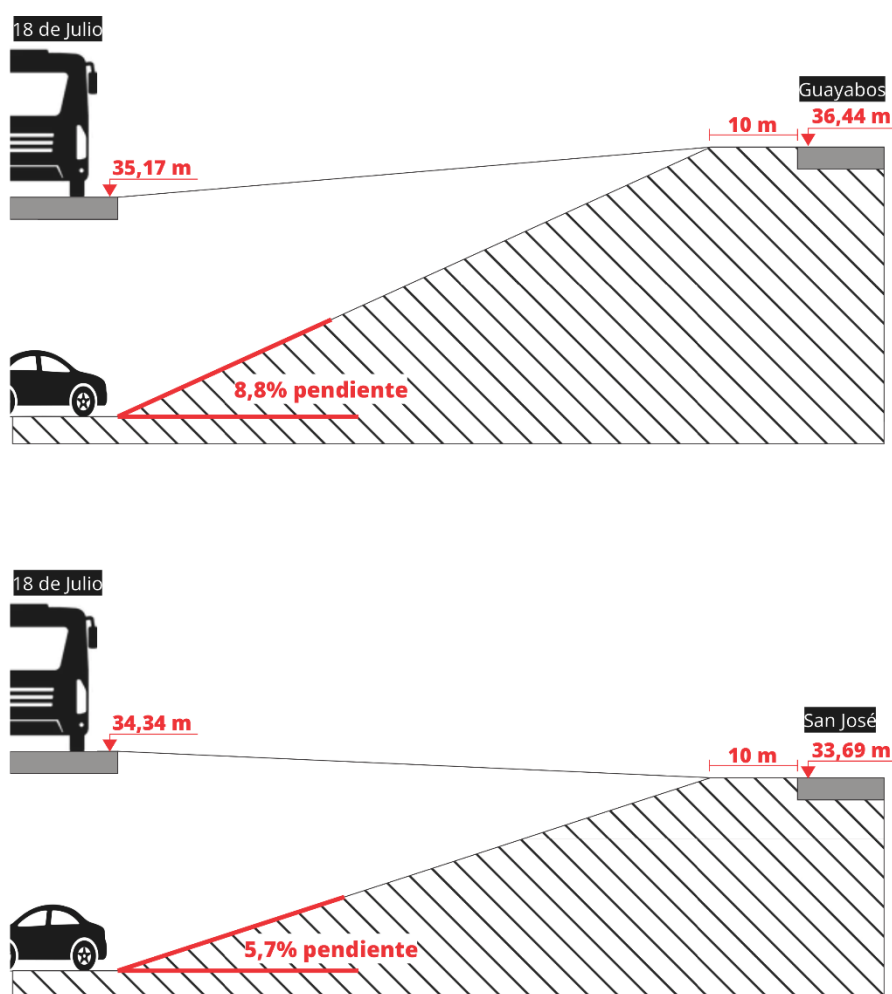
En la tabla siguiente se muestran las mediciones realizadas y las pendientes requeridas para las rampas. También se presenta una figura que muestra el esquema utilizado para calcular las pendientes en función de los datos identificados. Se muestran dos ejemplos.

**Tabla 3-2 Pendientes necesarias en las transiciones de los pasos inferiores.**

Calle con paso inferior	Calle paralela a 18 de Julio	Distancia actual (m)	Altura en 18 de Julio (m)	Altura en cruce (m)	Pendiente (%)
Eduardo Acevedo	Colonia	92	35,17	32,25	2,6
Eduardo Acevedo	Guayabos	81	35,17	36,44	8,8
Ejido	San José	88	34,34	33,69	5,7
Ejido	Colonia	84	34,34	30,5	1,6
Fernández Crespo	Colonia	94	37,03	33,5	1,7
Fernández Crespo	Guayabos	93	37,68	38,73	7,2
Yaguarón	San José	84	33,34	35,247	9,4
Yaguarón	Colonia	87	33,34	31,81	4,5

*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3-3 Esquema de cálculo de pendientes.**



*Fuente: elaboración propia.*

Como se puede observar, las rampas que presentarían las pendientes más pronunciadas son: Yaguarón hacia San José (9,4%), Eduardo Acevedo hacia Guayabos (8,8%) y Fernández Crespo hacia Guayabos (7,2%). Aunque son rampas importantes, se encuentran dentro de los rangos que se pueden encontrar en una ciudad y, en algunos casos, rampas de entrada al paso y no de salida. Si bien estas pendientes pueden derivar en un aumento de los tiempos de viaje, la eliminación de estacionamientos y la intersección semafórica pueden compensar el aumento.

Los carriles del BRT en superficie ubicados sobre los pasos inferiores podrían convivir de forma segura con el resto de los usuarios con velocidades de circulación de los biarticulados inferiores a los 45 km/h. Además, podrían agregarse elementos de mobiliario urbano adecuado que habiliten el cruce seguro en cruces peatonales y de acceso a estaciones centrales. Esta restricción de la velocidad de los biarticulados en lugares puntuales no debe suponer un efecto sustancial sobre los tiempos de circulación total en el corredor.

La opción de los pasos inferiores por las transversales requiere hacer dos pasos inferiores por cada uno de los pasos alineados con el BRT si se quiere reducir la misma cantidad de semáforos. Por ejemplo, si se coloca un paso inferior alineado con el BRT que pase por debajo de Fernández Crespo y Eduardo Acevedo se eliminarían al menos dos semáforos a los biarticulados con un solo paso inferior. Para producir el mismo efecto se deberían construir dos pasos inferiores

transversales: uno por Fernández Crespo y otro por Eduardo Acevedo. Si bien la longitud individual de estos dos probablemente sea menor que el primero, la suma total sería mayor lo que probablemente implicaría un costo mayor de obra y mantenimiento, además de un probable mayor impacto sobre servicios existentes.

Otro elemento para considerar es que los pasos inferiores para el BRT permitirían a los biarticulados evitar interrupciones en la superficie. En caso de los pasos inferiores transversales, el servicio de BRT sufriría estos eventos.

Frente a estas limitaciones, se ha considerado la solución planteada en el diseño original del sistema BRT para otras áreas de la ciudad, como los ejes de 8 de Octubre y Avenida Italia (como se puede ver en la figura siguiente), donde se prevé el paso inferior del corredor troncal en tramos específicos. Esta estrategia permite aislar completamente la operación del transporte público respecto a las interferencias de superficie, otorgando prioridad al sistema en puntos críticos del recorrido. Al eliminar la dependencia de semáforos y conflictos transversales, se garantiza una mayor regularidad, mejor nivel de servicio y reducción efectiva de los tiempos de viaje.

**Figura 3-4 Esquema de paso inferior en 8 de Octubre y Luis Alberto de Herrera.**



*Fuente: Propuesta Integral de Transformación, CINVE (2024).*

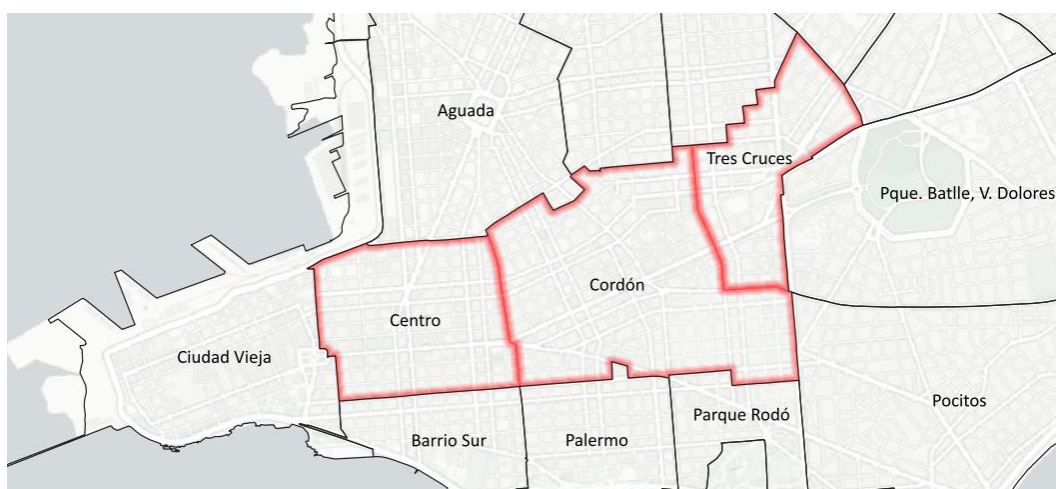
A partir de este análisis comparativo, se define como criterio de diseño la incorporación de pasos inferiores del corredor BRT en aquellas zonas donde la congestión, la densidad peatonal o la configuración urbana no permitan asegurar un funcionamiento adecuado en superficie. Esta solución se aplicará de manera puntual y estratégica, priorizando los puntos de mayor complejidad operativa y urbana, y manteniendo tramos en superficie donde las condiciones lo permitan.

### 3.3. Descripción general del área céntrica

El área céntrica de Montevideo constituye el núcleo administrativo, comercial, cultural e institucional de la ciudad, y presenta una serie de características urbanas y funcionales que resultan determinantes para cualquier intervención en materia de movilidad.

El centro de Montevideo puede considerarse comprendido entre la Plaza Independencia al oeste y el entorno del Parque Batlle y Tres Cruces al este, con límites difusos hacia el norte y sur que abarcan parte de los barrios Cordón, Centro y Ciudad Vieja. Las avenidas 18 de Julio, Colonia y Mercedes son los principales ejes longitudinales, complementados por calles transversales de menor jerarquía.

**Figura 3-5 Área céntrica de Montevideo y barrios de Montevideo.**

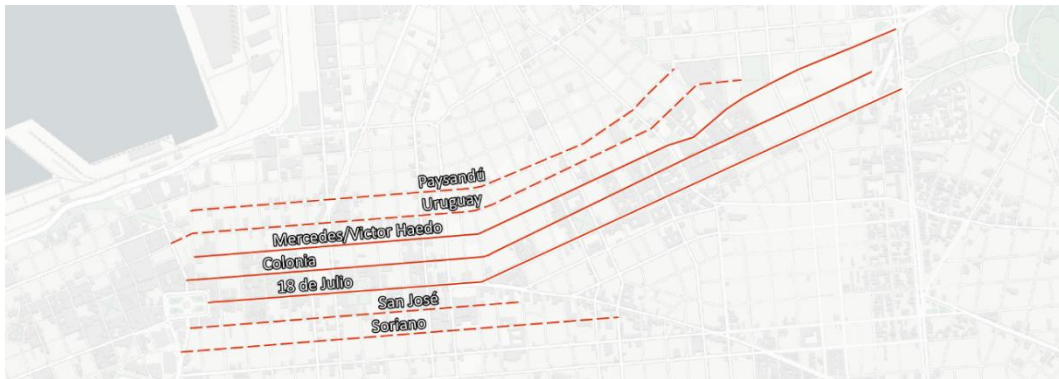


*Fuente: elaboración propia.*

Esta zona se caracteriza por una trama ortogonal densa, con manzanas compactas, edificación continua, veredas angostas en muchos sectores y una carga importante de actividades en planta baja, lo que condiciona severamente las posibilidades de ampliación o redistribución del espacio vial.

El centro presenta un sistema vial complejo, con fuerte segmentación de funciones. La avenida 18 de Julio cumple el rol de eje estructurante: concentra la mayor densidad de líneas de transporte público, alto flujo peatonal y una intensa actividad comercial. Es una vía bidireccional con semáforos en casi todas las esquinas, y comparte espacio entre vehículos privados, transporte público, peatones y ciclistas. Colonia (hacia Ciudad Vieja) y Mercedes (hacia Tres Cruces) funcionan como ejes complementarios unidireccionales, que canalizan parte del transporte colectivo y del tránsito general. Otras calles como San José, Soriano, Canelones o Uruguay presentan discontinuidades o menor jerarquía funcional.

**Figura 3-6 Principales calles en sentido Este - Oeste.**



*Fuente: elaboración propia.*

El centro es el principal destino de viajes de la ciudad y también su principal generador de viajes. Alberga edificios institucionales clave (como la Intendencia, la Universidad de la República, sedes ministeriales, juzgados y universidades), así como oficinas, comercios, instituciones educativas y centros de salud. Esta concentración de funciones genera una gran demanda de accesibilidad y de conectividad tanto en transporte público como privado.

La zona también presenta una fuerte competencia por el uso del espacio urbano: veredas angostas, estacionamientos en calzada, espacios de carga y descarga, terminales informales y concentraciones de usuarios. La densidad de actividades y la presencia constante de eventos sociales, manifestaciones y ferias refuerzan la necesidad de contar con un sistema de transporte confiable, resiliente y bien integrado.

Las principales calles transversales que intersectan los corredores de 18 de Julio, Colonia y Mercedes juegan un rol clave tanto en la circulación vehicular como en la articulación del transporte público en el centro de Montevideo. A nivel de tránsito privado, destacan por su conectividad y jerarquía las arterias Fernández Crespo, Ejido y Yaguarón, Paraguay y Río Negro, así como la pareja Minas y Magallanes, que estructuran gran parte del flujo este-oeste y permiten derivaciones hacia otros sectores de la ciudad. Desde el punto de vista del transporte público, las conexiones más relevantes se dan en Fernández Crespo y Eduardo Acevedo, que concentran gran cantidad de líneas y permiten intercambios modales, seguidas por el eje Minas–Magallanes y, en menor medida, por Ejido y Yaguarón, todas ellas con alta frecuencia de servicios y relevancia operativa para el sistema actual. A continuación, se presentan las principales características de las calles que podrían recibir total o parcialmente el corredor de BRT.

### **3.3.1. 18 de Julio**

Tiene un largo de 3,3 km, conectando Bulevar Artigas en la zona de Tres Cruces con la Ciudad Vieja, atravesando el centro de la ciudad. Entre Plaza Independencia y Ejido la avenida cuenta con dos carriles por sentido. Desde allí hasta 8 de octubre aumenta a tres carriles por sentido (angostos) y los últimos metros disminuye nuevamente a dos carriles por sentido con cantero central.

**Figura 3-7 18 de Julio entre Andes y Convención, vista hacia el Este.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3-8 18 de Julio entre Tristán Narvaja y Eduardo Acevedo, vista hacia el Este.**



*Fuente: elaboración propia.*

Respecto al uso de suelo en las áreas circundantes, existe una importante actividad comercial y de oficinas. A lo largo de la misma se encuentran varios edificios emblemáticos de la ciudad como el palacio Salvo y el palacio municipal, oficinas públicas, galerías y otros espacios comerciales, la sede de facultad de derecho y las oficinas administrativas de Udelar, la casa central del Banco República, entre otras oficinas bancarias y comerciales. En resumen, es probablemente la avenida más importante en cuanto a identidad de la ciudad, cuenta con una amplia gama de actividades económicas, sociales y culturales que deberán ser contempladas a la hora de tomar decisiones sobre la misma.

En cuanto al tránsito, circulan por esta avenida cerca de 16.000 vehículos al día según datos de los conteos de la Intendencia de Montevideo para mayo de 2025, siendo uno de los principales ejes de conexión entre la Ciudad Vieja y el resto de la ciudad. Por la ciclovía transitan alrededor de 2.500 ciclistas y usuarios de monopatines por día, según datos publicados por la Intendencia de Montevideo en junio de 2025. Presenta semáforos en prácticamente todas las intersecciones. Es uno de los ejes principales en la planificación actual del transporte público, albergando cerca de 100 servicios por sentido en el horario punta de la mañana. Sin embargo, es uno de los corredores más lentos de la ciudad. Según datos del Observatorio de Movilidad (2018), la velocidad del transporte público en el corredor se encuentra entre los 10 y los 14 km/h en el correr de un día hábil.

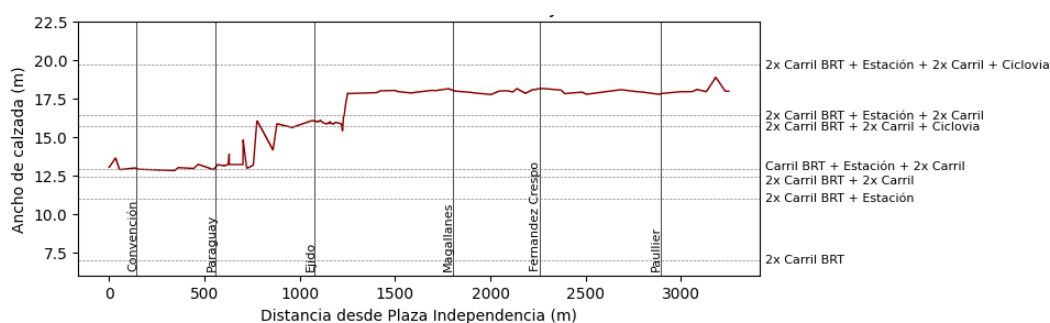
18 de Julio tiene un ancho de vereda variable en su recorrido. En el tramo entre Plaza Independencia y Constituyente el ancho de cada una de las veredas oscila entre los cuatro y los

seis metros. Al Este de Constituyente la variación de anchos es aún mayor y se pueden encontrar tramos con veredas de entre dos y ocho metros.

Según un relevamiento realizado a partir de imágenes aéreas publicadas por la Intendencia de Montevideo (2025) el ancho de la calzada actual de 18 de Julio se puede dividir en tres tramos importantes. El primer tramo se encuentra entre Plaza Independencia y Carlos Quijano (300m al este de Paraguay) y tiene el menor ancho de todo el trayecto: 13 metros. Entre Carlos Quijano y Constituyente el ancho de calzada se acerca a los 16 metros. Al este de Constituyente, se encuentran los mayores anchos de todo el tramo aproximándose a los 17,5 metros.

En la siguiente figura se muestra el ancho de calzada disponible en todo el corredor actualmente. Además, se muestran algunas combinaciones de carriles en la sección transversal para identificar las alternativas viables sin afectar el espacio de vereda. Además, se muestra la ubicación de las paradas del sistema a modo de referencia.

**Figura 3-9 Ancho de calzada actual en 18 de Julio.**



*Fuente: elaboración propia*

Se puede observar que en el primer tramo no es posible colocar dos carriles de BRT, dos carriles de tránsito general y una estación. En el segundo tramo es posible incluir los dos carriles de BRT, dos de tránsito particular y mantener la ciclovía existente. Por último, en el tercer tramo es necesario recurrir al uso de la vereda actual solamente en tramos que queramos mantener el perfil dos carriles tanto de BRT como de tránsito general, la ciclovía y la estación de BRT. Sin la estación, el perfil permitiría aumentar el ancho de la vereda actual.

### 3.3.2. Colonia

La calle Colonia constituye una de las principales vías del centro de Montevideo, con una extensión total de 3,2 kilómetros que conecta Tres Cruces con Ciudad Vieja en su intersección con Ciudadela. Esta continuidad la posiciona como un eje clave de ingreso al centro de la ciudad, con un alto flujo vehicular y peatonal a lo largo de todo su recorrido.

Colonia alberga una elevada densidad de actividades comerciales, servicios profesionales y oficinas, lo que se traduce en una importante demanda de accesibilidad peatonal y vehicular. Además, se identifican numerosas entradas vehiculares a garajes privados y edificios de estacionamiento, lo que impone restricciones operativas a posibles cambios en el uso de la calzada. A esto se suma la presencia de 17 zonas de carga y descarga (ZCD), distribuidas a lo largo del eje, y una intensa utilización por parte del sistema actual de transporte público, con cerca de 20 líneas que recorren parcial o totalmente esta calle. Estas condiciones consolidan a

Colonia como un corredor de alta complejidad funcional y estratégica para cualquier intervención de transporte.

**Figura 3-10 Colonia entre Tristán Narvaja y Eduardo Acevedo, vista hacia el Oeste.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3-11 Colonia entre Paraguay y Rondeau, vista hacia el Oeste.**



*Fuente: elaboración propia.*

Según los datos de aforo vehicular publicados por la Intendencia de Montevideo, circulan por Colonia aproximadamente 20.000 vehículos por día según datos de mayo de 2025.

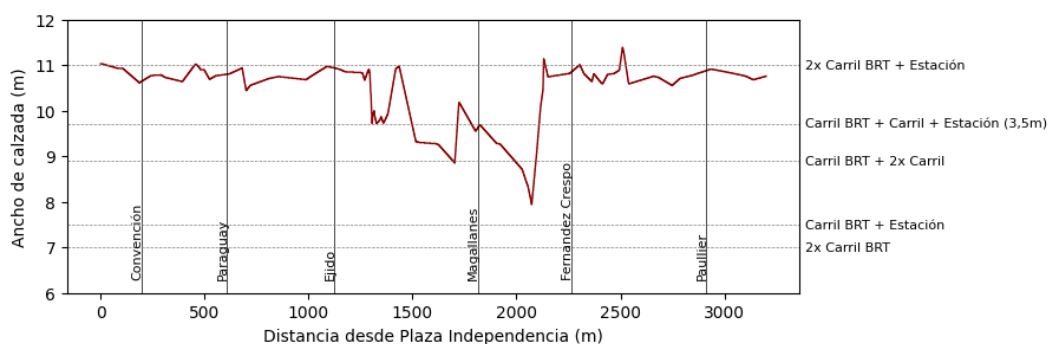
El ancho de veredas en Colonia es un factor restrictivo para la modificación de su perfil. Colonia se caracteriza por veredas angostas en prácticamente toda su extensión oscilando generalmente entre los dos y tres metros y medio. En algunas secciones particulares como el tramo entre Tristán Narvaja y Eduardo Acevedo las veredas están próximas al metro de ancho cada una.

El ancho de calzada presenta variaciones a lo largo del tramo, con una sección promedio cercana a los 10,5 metros, aunque en sectores puntuales —como entre Eduardo Acevedo y Tristán Narvaja— se reduce a aproximadamente 8,2 metros, lo que condiciona el diseño de perfiles funcionales en dichos tramos. Actualmente, la calle cuenta con un carril exclusivo para transporte público, uno o dos carriles para tránsito general y espacios de estacionamiento, principalmente localizados sobre la acera sur. En total, se estima una oferta de estacionamiento de aproximadamente 400 plazas, incluyendo espacios reservados.

En la figura siguiente se observa el ancho de calzada actual con el ancho requerido por distintas combinaciones de carriles. Lo primero que se puede observar es que el ancho actual de la calzada no es suficiente para colocar una estación de 4 metros de ancho y dos carriles de BRT que requieren 11 metros en total. En prácticamente todo el recorrido es posible colocar un carril de BRT y dos carriles de circulación general. También es posible colocar un carril BRT, uno

general y la estación (de ancho reducido a 3,5 metros) en todos los puntos de parada a excepción de Magallanes. En ese punto en particular, Colonia bordea la plaza da los Treinta y Tres que permitiría colocar el perfil completo.

**Figura 3-12 Ancho de calzada actual en Colonia.**



*Fuente: elaboración propia.*

### 3.3.3. Mercedes

La calle Mercedes tiene una longitud total de 3,2 kilómetros, sentido único de circulación hacia el Este y actúa como un corredor de conexión clave entre el entorno de Tres Cruces —a la altura de Bulevar Artigas, próximo a la terminal— y el límite de Ciudad Vieja en su intersección con Ciudadela. A partir del cruce con Arenal Grande, el corredor cambia de denominación a Eduardo Víctor Haedo, manteniendo su funcionalidad como eje de salida del centro hacia el este de la ciudad. Por practicidad cuando se hable de Mercedes en este estudio se hará referencia a la suma de Mercedes y Víctor Haedo. Su continuidad lineal y su integración con los principales nodos de transporte urbano le otorgan un rol clave para la salida de la ciudad.

La calle presenta una alta densidad de actividades urbanas, con presencia significativa de comercios, oficinas y equipamientos que generan una elevada demanda de accesibilidad y carga peatonal. Se identifican numerosas entradas vehiculares a garajes privados y estacionamientos, lo que implica requerimientos funcionales específicos en el diseño de cualquier intervención. Actualmente existen cuatro zonas de carga y descarga (ZCD) habilitadas y, en términos de transporte público, Mercedes es una arteria de alta intensidad operativa, utilizada por cerca de 30 líneas del sistema urbano que recorren total o parcialmente su trazado. Todo ello convierte a esta vía en un corredor complejo y de gran relevancia en el funcionamiento del sistema de movilidad central.

**Figura 3-13 Mercedes entre Convención y Río Branco, vista hacia el Este.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 3-14 Víctor Haedo entre República y Defensa, vista hacia el Este.**



*Fuente: elaboración propia.*

Según los datos de aforo vehicular publicados por la Intendencia de Montevideo, circulan por Mercedes aproximadamente 12.500<sup>1</sup> vehículos por día según datos de mayo de 2025.

El ancho de veredas en Mercedes también es un factor restrictivo para la modificación de su perfil. Mercedes tiene veredas angostas en prácticamente toda su extensión oscilando generalmente entre los dos y tres metros y medio.

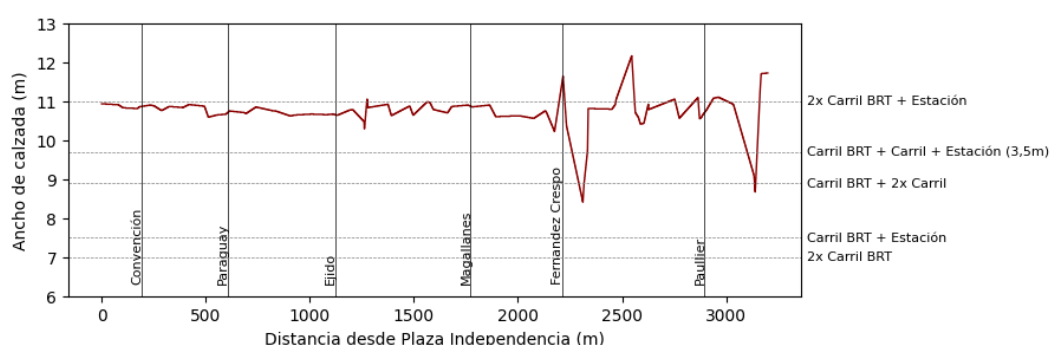
El ancho de calzada de la calle es variable a lo largo de su traza. En la mayoría de las cuadras se mantiene en torno a los 11 metros, aunque existen sectores más angostos, donde el ancho se aproxima a los 9 metros, lo que representa un desafío para la distribución de funciones viales. En su configuración actual, Mercedes dispone de un carril exclusivo para buses, dos carriles de circulación general y espacio de estacionamiento, mayoritariamente ubicado sobre la acera norte. Se estima que la oferta total de estacionamiento en calzada alcanza unas 375 plazas, incluyendo aquellas reservadas para usos específicos.

Al observar la figura siguiente se puede concluir que al igual que en Colonia no es posible colocar dos sentidos de circulación del BRT (dos carriles BRT más la estación) ya que en apenas algunos puntos el ancho es el suficiente. En prácticamente todo el recorrido es posible colocar un carril de BRT y dos carriles de circulación general. También es posible colocar un carril BRT, uno general y la estación (de ancho reducido a 3,5 metros).

---

<sup>1</sup> Conteo realizado en Víctor Haedo y Paullier.

**Figura 3-15 Ancho de calzada actual en Mercedes.**



*Fuente: elaboración propia.*

### 3.4. Selección de alternativas viables

La selección de las alternativas que serán objeto de análisis detallado parte de la aplicación de los criterios establecidos previamente, en función de la información disponible sobre el espacio vial, la demanda actual y las características operativas de las calles que atraviesan el área céntrica. Para cada eje potencial se relevaron los anchos de calzada y vereda, la presencia y continuidad de líneas de transporte público, la localización de equipamientos y usos urbanos relevantes, y las condiciones de circulación y accesibilidad vigentes. A partir de esta evaluación, se identificaron cuatro alternativas que resultan viables en este nivel de detalle desde el punto de vista técnico y funcional, y que ofrecen diferentes combinaciones de trazado y configuración operativa para el corredor de transporte público.

- Alternativa A0 reproduce la solución propuesta en el proyecto original para el eje 18 de Julio, consistente en el soterramiento completo del corredor BRT en ese tramo. La circulación del transporte público se realiza bajo tierra, con estaciones subterráneas y sin interferencias semafóricas. Esta solución, aunque de mayor complejidad constructiva, mantiene la centralidad del servicio y resuelve con eficacia las restricciones físicas y operativas del entorno.
- Alternativa A1 propone la instalación de un corredor BRT completamente a nivel sobre la avenida 18 de Julio, manteniendo el trazado central tradicional del sistema. Esta alternativa contempla un carril exclusivo por sentido para ómnibus biarticulados. Esta opción mantiene el servicio en el eje de mayor accesibilidad y centralidad del centro de Montevideo.
- Alternativa A2 plantea un corredor BRT en dos calles paralelas, con sentido hacia Plaza Independencia por la calle Colonia y sentido hacia Tres Cruces por la calle Mercedes. En ambos casos se prevé un carril exclusivo central para biarticulados, un carril de circulación general a su derecha y un carril de servicio para accesos particulares que se interrumpe en las cuadras con estaciones. Esta alternativa aprovecha el ancho disponible de ambas calles, su continuidad física y su cercanía a 18 de Julio, manteniendo una cobertura razonable sobre el área central.
- Alternativa A3 combina el uso de la calle Colonia para el sentido hacia Plaza Independencia y la avenida 18 de Julio para el sentido hacia Tres Cruces. Esta configuración permite descargar parcialmente el eje principal manteniendo su protagonismo y alta accesibilidad en uno de los sentidos del recorrido. La calle Colonia se

organiza con el mismo esquema que en la alternativa A2, mientras que en 18 de Julio se prevén carriles exclusivos y generales en paralelo, aprovechando su mayor sección transversal y adaptándose a la intensidad de usos del entorno.

Además de las cuatro alternativas principales descritas, se considerarán variantes para las alternativas A1, A2 y A3 que incorporan pasos inferiores del corredor BRT. Estas variantes contemplan dos tramos subterráneos específicamente diseñados para alojar las estaciones ubicadas en las inmediaciones de Ejido y de Fernández Crespo. La incorporación de estos pasos inferiores permite reducir las demoras asociadas a la operación en superficie, al eliminar interferencias semafóricas en puntos de alta demanda. Asimismo, estas intervenciones favorecen la continuidad de los cruces transversales Norte-Sur, mejorando la conectividad para el resto de los usuarios del espacio público, tanto peatones como vehículos particulares. Estas variantes mantienen los lineamientos generales de cada alternativa, pero con un desempeño operacional mejorado en los tramos más conflictivos.

#### **4. Descripción de alternativas seleccionadas**

La presente sección desarrolla en detalle las alternativas definidas como viables en la etapa anterior, incorporando para cada una de ellas la descripción técnica de su trazado, configuración operativa y elementos de infraestructura asociados. El análisis de cada alternativa considera tanto los aspectos funcionales —capacidad, velocidad comercial, regularidad— como las implicancias urbanas y operativas derivadas de su implantación en el área céntrica de Montevideo.

Cada alternativa se presenta en apartados independientes, organizados de forma homogénea para facilitar la comparación posterior. Se incluyen sus características geométricas y constructivas, el esquema de operación previsto, la ubicación y tipo de estaciones, la relación con la red de transporte público existente y los ajustes necesarios en la circulación vehicular y peatonal. Asimismo, se describen, cuando corresponda, las variantes con pasos inferiores, resaltando las diferencias funcionales y constructivas respecto a la opción principal.

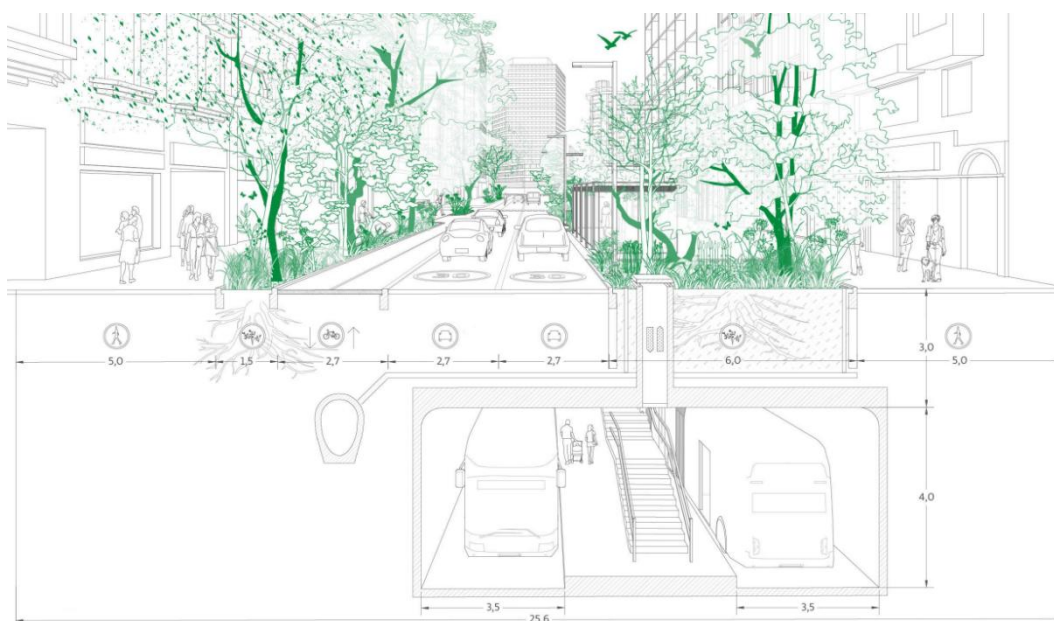
##### **4.1. A0 Soterramiento completo en 18 de Julio**

La Alternativa A0 plantea el desarrollo de un corredor subterráneo exclusivo para servicios troncales de transporte público a lo largo del eje 18 de Julio, entre Tres Cruces y Plaza Independencia. El sistema se estructura como una doble vía en túnel, una por sentido, con estaciones soterradas distribuidas en puntos definidos del recorrido.

El trazado subterráneo permite separar físicamente la operación del tránsito superficial, lo que puede reducir la exposición a interferencias asociadas a la circulación en superficie. Asimismo, al contar con un corredor independiente, los tiempos de viaje se vuelven menos dependientes de la congestión existente en la zona.

El túnel se extiende desde las inmediaciones del intercambiador subterráneo de Tres Cruces, con conexión a la infraestructura actual, hasta las cercanías de Plaza Independencia, donde se ubica la estación terminal. A lo largo del corredor se proyectan seis estaciones subterráneas con andenes centrales y sistemas de preembarque. Cada estación dispone de dos cabinas de acceso equipadas con escaleras y ascensores que vinculan la superficie con el nivel subterráneo.

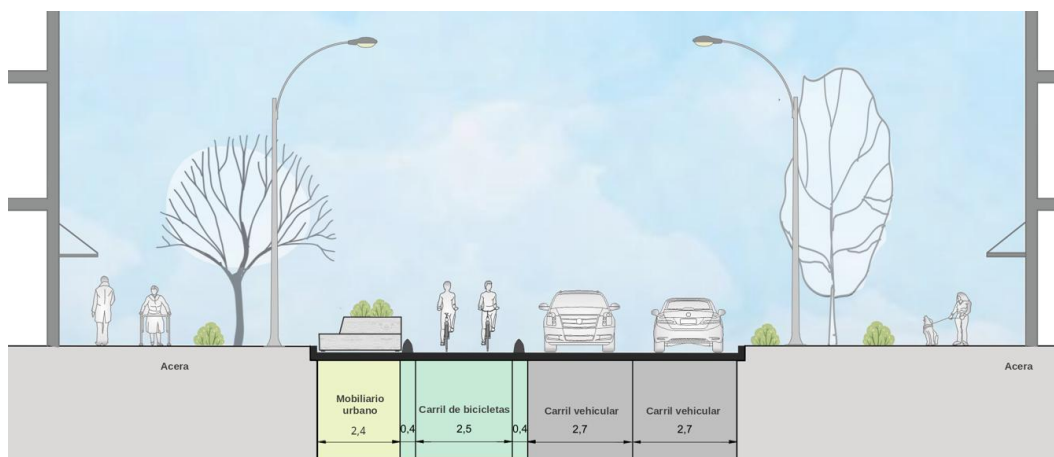
**Figura 4-1 Corte transversal de la Alternativa A0 en 18 de Julio y Yaguarón.**



*Fuente: Propuesta Integral de Transformación, CINVE – GETM, 2024.*

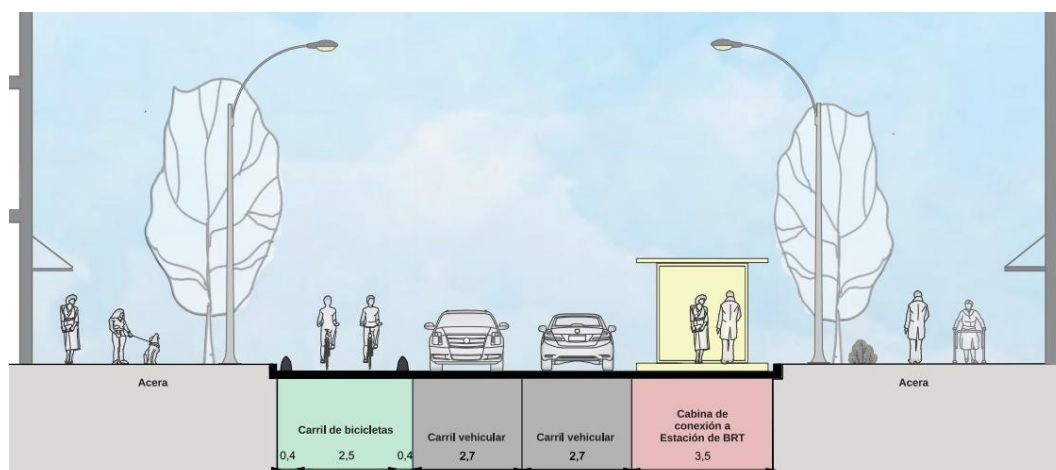
En superficie, 18 de Julio contará con una ciclovía en ambos sentidos sobre el extremo norte de la calzada en toda su extensión. En el tramo comprendido desde Plaza Independencia hasta Constituyente contará con un carril de circulación por sentido. Desde Constituyente hasta la conexión con Tres Cruces se agrega un segundo carril de circulación hacia el este.

**Figura 4-2 Corte transversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Constituyente.**



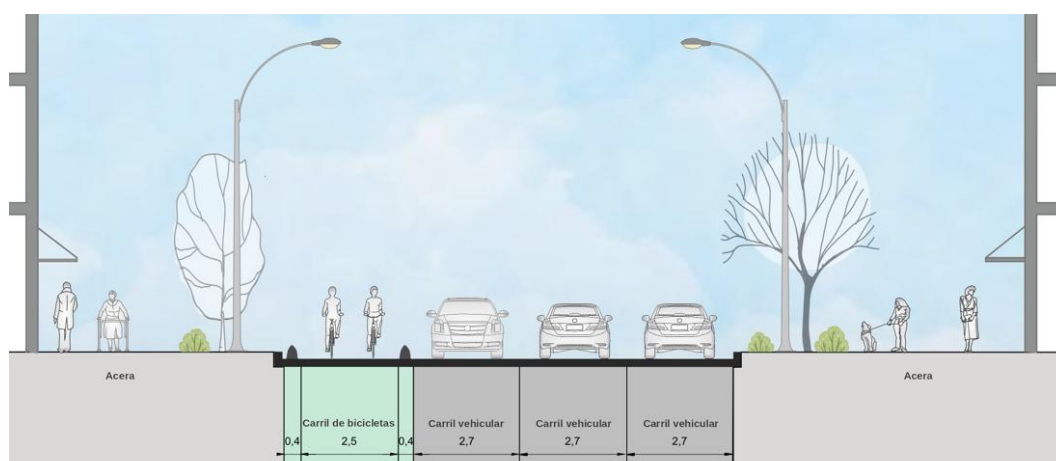
*Fuente: elaboración propia en base a Propuesta Integral de Transformación, CINVE – GETM, 2024.*

**Figura 4-3 Corte transversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Constituyente, con cabina de bajada.**



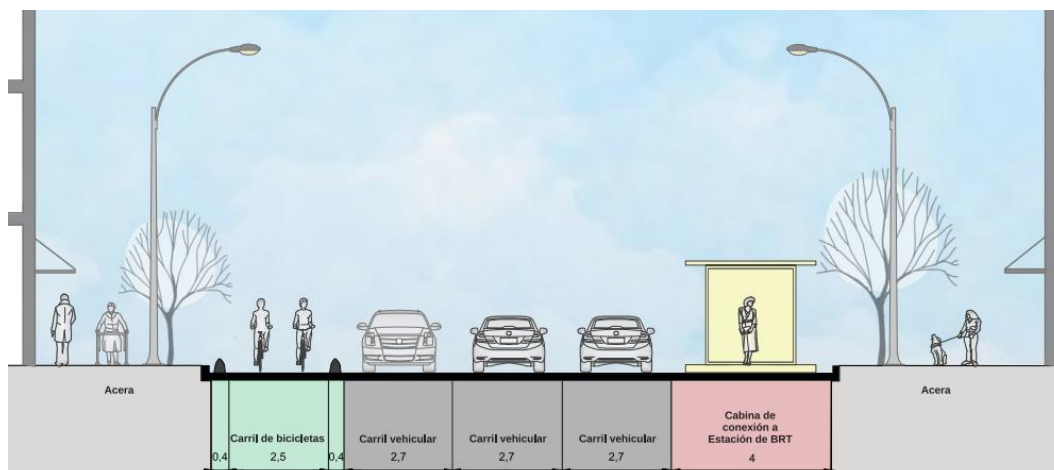
*Fuente: elaboración propia en base a Propuesta Integral de Transformación, CINVE – GETM, 2024.*

**Figura 4-4 Corte transversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas.**



*Fuente: elaboración propia en base a Propuesta Integral de Transformación, CINVE – GETM, 2024.*

**Figura 4-5 Corte transversal de la Alternativa A0 en superficie de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas, con cabina de bajada.**



*Fuente: elaboración propia en base a Propuesta Integral de Transformación, CINVE – GETM, 2024.*

En los diagramas no se incluye espacio de estacionamiento en calzada ni zonas destinadas para la carga y descarga, sin embargo, por el espacio disponible de la faja se podrían destinar superficie para estos usos en el diseño final. En esta alternativa las calles Colonia y Mercedes mantendrían su uso actual.

En el extremo del corredor en Plaza Independencia el túnel de los biarticulados se conecta con la superficie a través de rampas de acceso con una longitud que depende de la profundidad de diseño del túnel (Ver Anexo I).

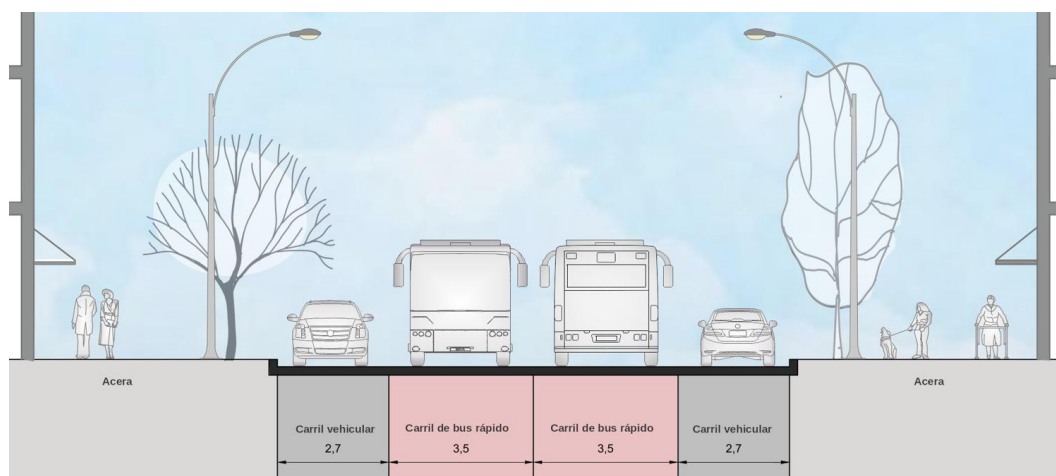
#### **4.2. A1 BRT en superficie por 18 de Julio**

Esta alternativa propone la implementación de un corredor BRT en superficie sobre la avenida 18 de Julio, con circulación exclusiva para buses biarticulados. La traza se divide en tres tramos:

- Tramo 1: Plaza Independencia a Carlos Quijano
- Tramo 2: Carlos Quijano a Constituyente
- Tramo 3: Constituyente a Bulevar Artigas

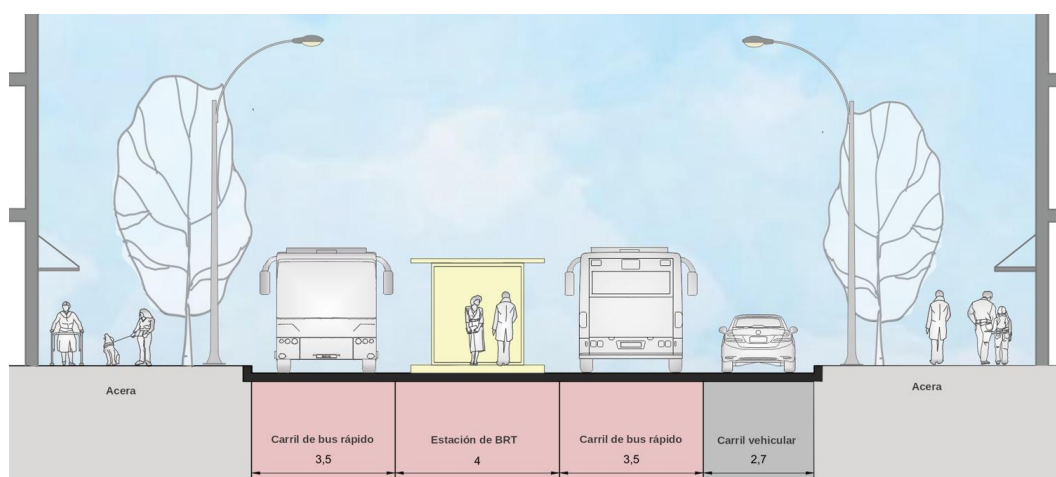
En los tres tramos se prevé una sección tipo con un carril exclusivo por sentido para buses biarticulados y un carril de circulación general por sentido. En el Tramo 1, cuando se localiza una estación, se suprime temporalmente el carril general en sentido hacia Plaza Independencia. Por razones de disponibilidad de espacio, la ciclovía en este tramo mantendría su recorrido actual de circulación por la calle San José.

**Figura 4-6 Corte transversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano.**



*Fuente: elaboración propia.*

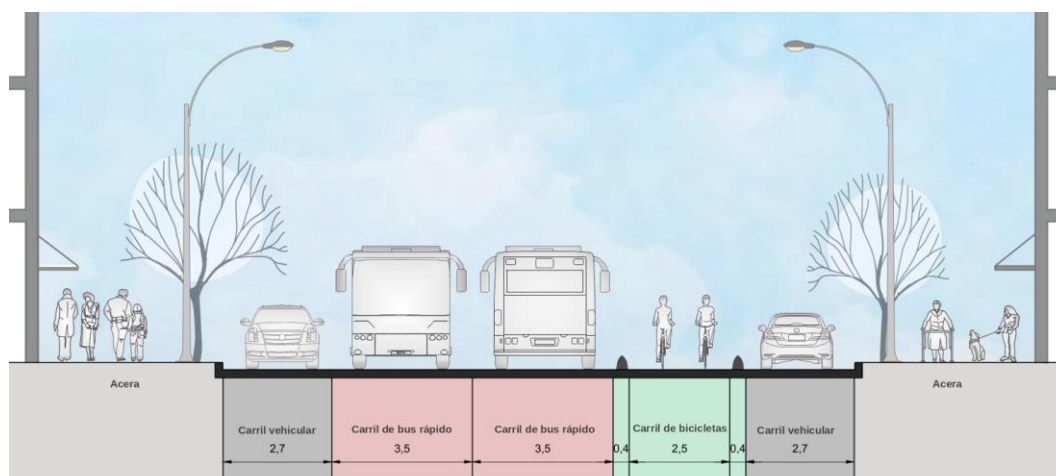
**Figura 4-7 Corte transversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano, con estación.**



*Fuente: elaboración propia.*

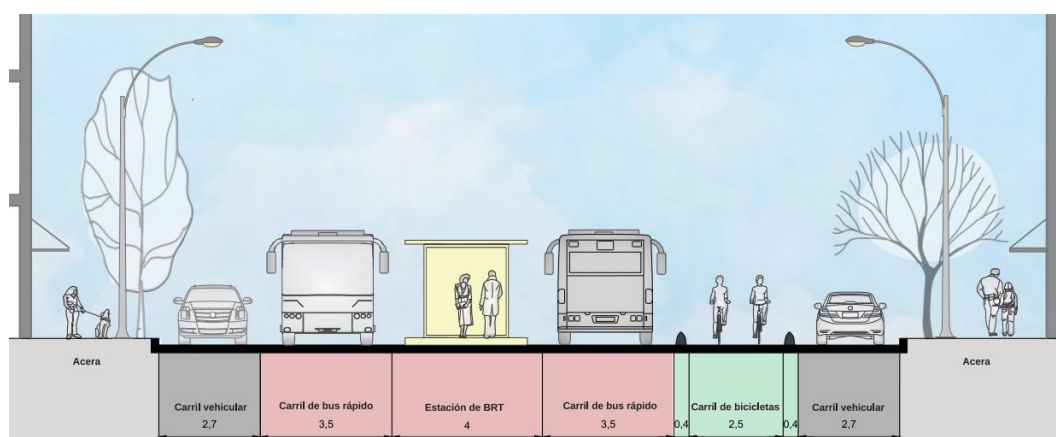
En el Tramo 2 se agrega la ciclovía al resto de los carriles existentes en el Tramo1. La estación de Ejido se sitúa frente a la Intendencia lo que permite mantener ambos carriles generales.

**Figura 4-8 Corte transversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente.**



*Fuente: elaboración propia.*

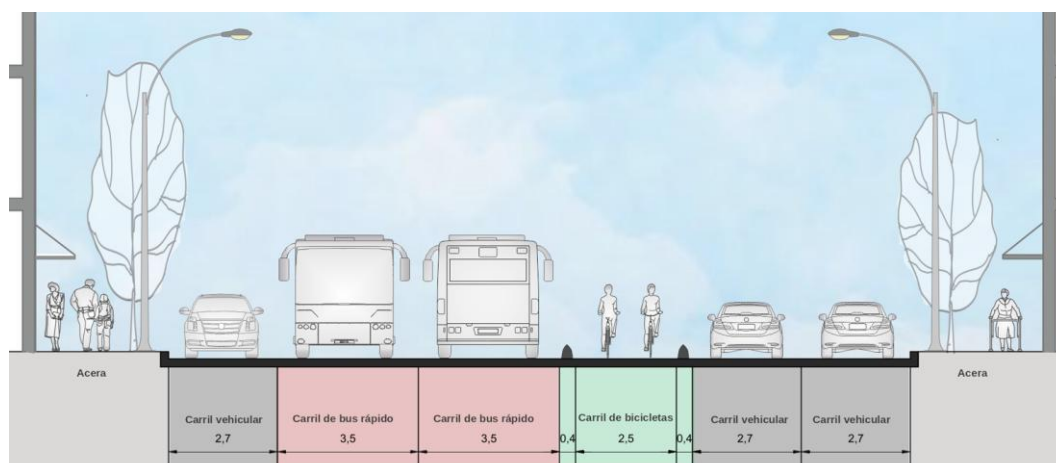
**Figura 4-9 Corte transversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente, con estación.**



*Fuente: elaboración propia.*

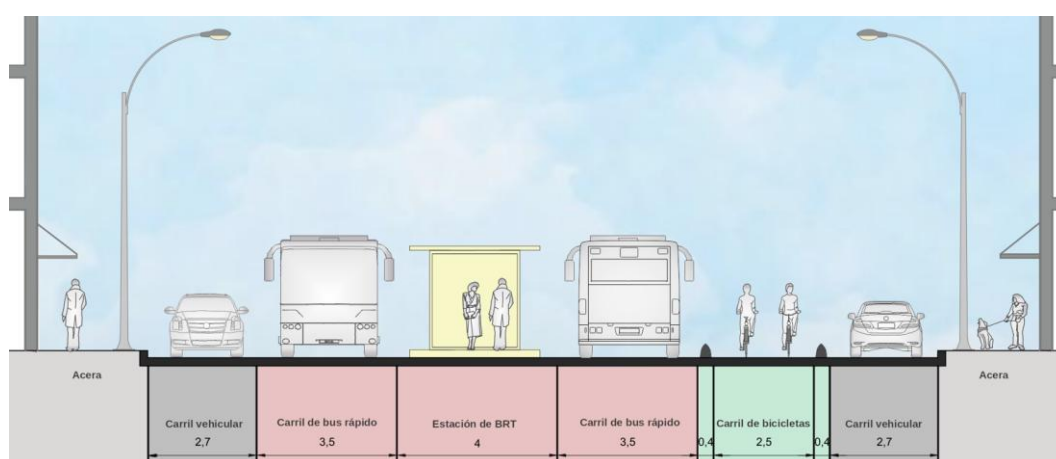
En el Tramo 3, además de los carriles exclusivos y generales, existe el espacio para agregar un carril adicional en sentido a Tres Cruces destinado a detenciones breves (taxis, vehículos de emergencia) y mobiliario urbano; dicho carril se interrumpe en los puntos donde se ubican estaciones. Este carril no será considerado para los análisis de circulación vehicular y se tomará como espacio disponible en la faja cuyo uso deberá definirse en etapas de diseño.

**Figura 4-10 Corte transversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-11 Corte transversal de la Alternativa A1 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas, con estación.**



*Fuente: elaboración propia.*

La circulación habilitada incluye los biarticulados, vehículos particulares, bicicletas y carga liviana. No se prevé el uso 18 de Julio por otras líneas de transporte público. El estacionamiento en calzada es marginal actualmente, y se prevé su eliminación formal, aunque podría mantenerse un espacio de detención breve en el Tramo 3, bajo regulación.

La alternativa mantiene el acceso vehicular a frentes comerciales, residenciales y garajes privados a lo largo de todo el recorrido. En el Tramo 1, donde las estaciones se ubican sobre la calzada, los vehículos que acceden a propiedades frentistas deberán utilizar el carril exclusivo BRT en sentido a Plaza Independencia para su salida.

Las actividades de carga y descarga de mercadería deberán organizarse mayormente desde calles paralelas o, en su defecto, realizarse sobre el carril de servicio del Tramo 3 fuera del horario pico, en acuerdo con las regulaciones operativas que se establezcan.

Las calles transversales y adyacentes mantienen su funcionamiento actual, sin cambios en sentidos de circulación ni desvíos estructurales. Las líneas de transporte público que no se

integren al BRT podrán conservar sus trazados habituales, especialmente aquellas que ya operan sobre calles paralelas como Colonia o Paysandú.

La alternativa incluye seis estaciones centrales (ubicadas en el eje de la calzada) y permiten preembarque. Están distribuidas de la siguiente manera:

- Tramo 1:
  - Entre Andes y Convención
  - Entre Río Negro y Paraguay
- Tramo 2:
  - Frente a la explanada de la Intendencia
- Tramo 3:
  - Entre Minas y Magallanes
  - Entre Eduardo Acevedo y Fernández Crespo
  - Entre Requena y Paullier

En su extremo norte, la alternativa se conecta directamente con el intercambiador subterráneo de Tres Cruces, lo que permite una vinculación fluida con otros servicios troncales, líneas alimentadoras y terminales metropolitanas. Hacia el sur, la traza se prolonga hacia Ciudad Vieja, mediante un circuito que permite vincular ambos sentidos de la línea y garantizar la cobertura de la zona histórica y administrativa de la ciudad.

#### **4.3. A1-S BRT en superficie por 18 de Julio con pasos inferiores**

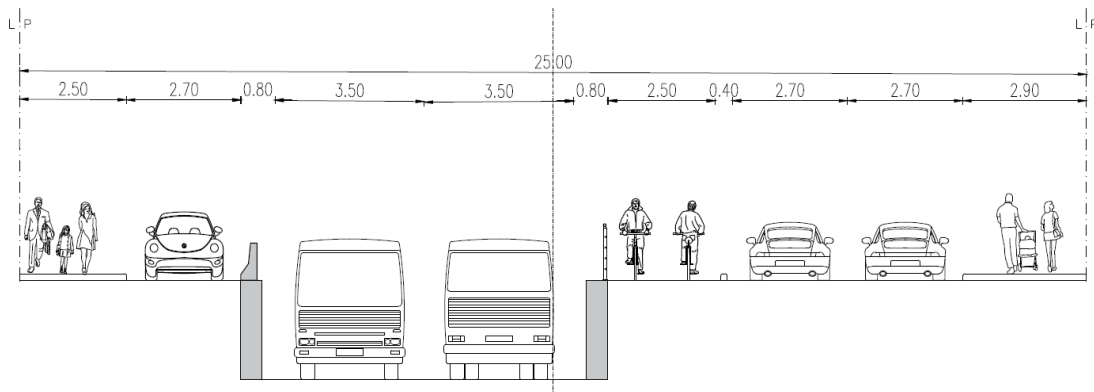
Se plantea una variante de la alternativa A1 que contempla dos pasos inferiores de carácter puntual, vinculados exclusivamente a la localización de estaciones:

- Frente a la Intendencia de Montevideo (Tramo 2)
- Eduardo Acevedo – Fernández Crespo (Tramo 3)

En ambos casos, se estima una extensión de aproximadamente 55 metros de rampa de acceso y la longitud completa de la cuadra para la estación subterránea. Esta solución permite evitar interferencias con el tránsito peatonal y vehicular en zonas críticas, manteniendo la estabilidad del servicio y reduciendo el impacto sobre el espacio urbano.

Las siguientes figuras ilustran las secciones transversales correspondientes a la rampa de acceso al paso inferior proyectado, en los tramos donde se ubicarán la Estación Intendencia y la Estación Fernández Crespo.

**Figura 4-12 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea**



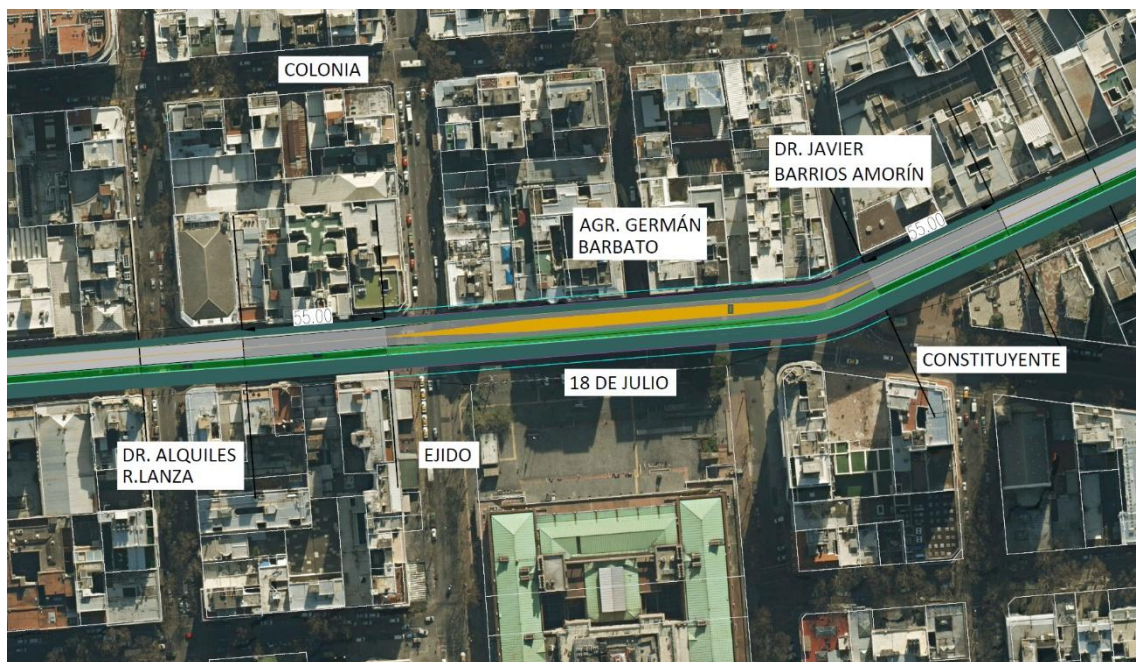
*Fuente: elaboración propia.*

- Pendiente longitudinal: se adoptó una pendiente del 10% para las rampas de acceso, garantizando una transición entre la superficie y el nivel inferior. En el tramo correspondiente al túnel, donde se localizarán las estaciones, se ha proyectado una pendiente longitudinal de 0%, a fin de optimizar las condiciones de operación, accesibilidad y seguridad.
- El gálibo vertical requerido para el paso de vehículos se estableció en 4,0 metros.
- Espesor estructural: se consideró un espesor estructural estimado del túnel de 1,35 metros.

De las consideraciones mencionadas, se calculó la longitud para las rampas de acceso, la cual resulta ser de 55,0 metros aproximadamente.

Las siguientes figuras muestran un esquema de la planimetría correspondiente a la estación frente a la Intendencia y la estación de Fernández Crespo.

**Figura 4-13 Esquema de planimetría en Estación Intendencia**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-14 Esquema de planimetría en Estación Fernández Crespo**

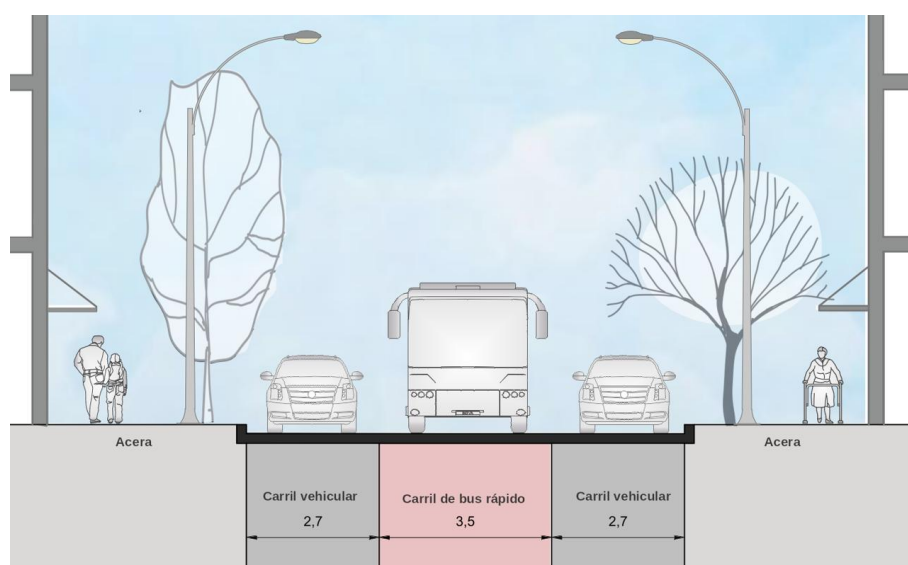


*Fuente: elaboración propia.*

#### **4.4. A2 BRT en superficie por Colonia y Mercedes**

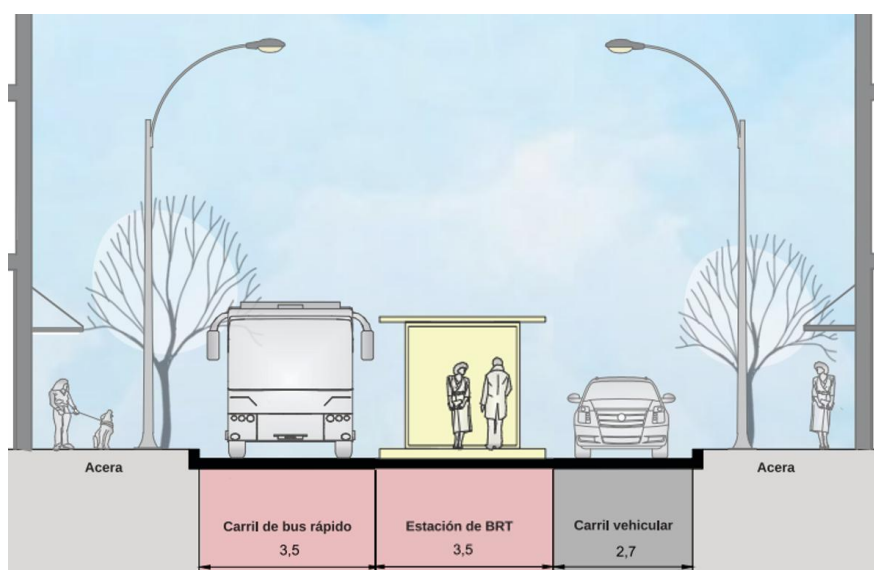
Esta alternativa plantea la implantación del corredor BRT en superficie, utilizando las calles Colonia y Mercedes como ejes de circulación exclusivos. El sentido de avance es hacia Plaza Independencia por Colonia y hacia Tres Cruces por Mercedes. En ambos casos, se proyecta un perfil tipo con tres componentes básicos: un carril central exclusivo por sentido para buses biarticulados, un carril de circulación general a la derecha del corredor, y un carril adicional de servicio, de velocidad reducida, destinado a permitir la salida de vehículos desde entradas particulares. En las cuadras donde se localizan estaciones, el carril de servicio se elimina, y la infraestructura de parada se dispone en el centro de la calzada, lo que implica que las salidas vehiculares desde los frentes frentistas deberán realizarse sobre el carril BRT, bajo condiciones controladas.

**Figura 4-15 Corte transversal de la Alternativa A2 en Colonia.**



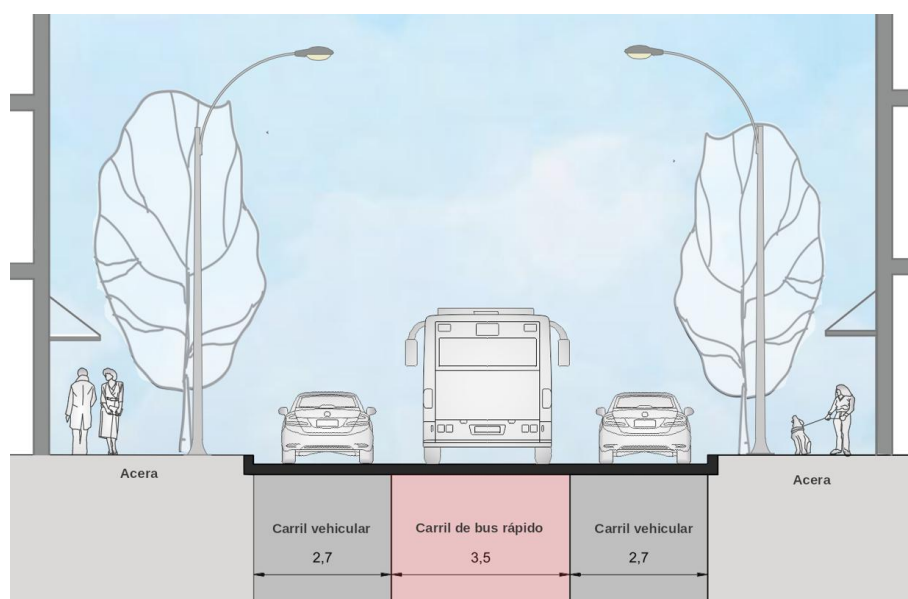
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-16 Corte transversal de la Alternativa A2 en Colonia, con estación.**



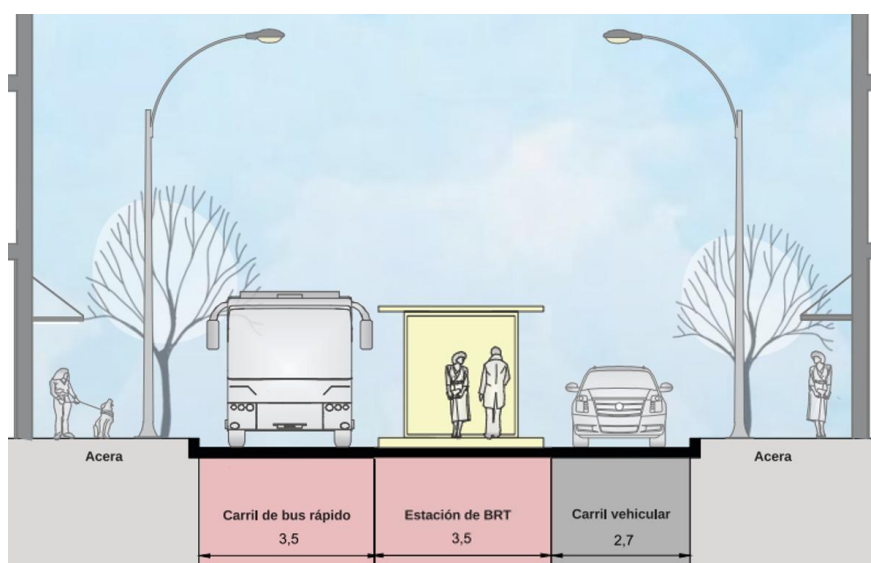
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-17 Corte transversal de la Alternativa A2 en Mercedes.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-18 Corte transversal de la Alternativa A2 en Mercedes, con estación.**



*Fuente: elaboración propia.*

El ancho disponible en estas calles varía entre 13 y 15 metros, lo que permite una distribución equilibrada sin necesidad de intervenir sobre las veredas existentes. En la mayoría del recorrido se gana cerca de 2 metros de superficie peatonal respecto a la situación actual. La circulación habilitada incluye transporte público, vehículos privados y carga liviana. El estacionamiento en calzada se elimina en su totalidad a lo largo del trazado.

El acceso a frentes comerciales, viviendas y garajes se mantiene habilitado, aunque en las cuadras con estación la salida deberá realizarse directamente sobre el carril de biarticulados. Las operaciones de carga y descarga deberán atenderse desde calles paralelas, bajo reglamentaciones específicas en función de franjas horarias y tipo de actividad. Las calles transversales y cercanas mantienen su funcionamiento actual sin alteraciones. No obstante, las líneas de transporte público que hoy utilizan Colonia y Mercedes deberán ser reubicadas, preferentemente hacia la avenida 18 de Julio u otros corredores paralelos, a efectos de liberar espacio para el funcionamiento exclusivo del sistema troncal.

La alternativa incluye seis estaciones por sentido, ubicadas de la siguiente forma:

- Sentido Colonia (hacia Plaza Independencia):
  - Entre Andes y Convención
  - Entre Río Negro y Paraguay
  - Entre Ejido y Yaguarón
  - Entre Minas y Magallanes
  - Entre Eduardo Acevedo y Fernández Crespo
  - Entre Requena y Paullier
- Sentido Mercedes (hacia Tres Cruces):
  - Ubicaciones simétricas a las de Colonia, incluyendo una entre Paraguay y Rondeau, que permite completar el circuito.

En el extremo norte, la traza se vincula con el intercambiador subterráneo de Tres Cruces, lo que garantiza la conexión con la red metropolitana y con otras líneas troncales. Hacia el sur, el

recorrido se prolonga hacia Ciudad Vieja mediante un circuito que permite empalmar ambos sentidos, aunque se reconoce la existencia de interferencias en el punto de cruce entre los flujos opuestos, lo que requerirá soluciones específicas de control y señalización.

El transporte público que actualmente circula por Colonia y Mercedes deberá utilizar 18 de Julio en esta alternativa ya el perfil de las primeras perjudicaría sensiblemente la operación. Del transporte público actual por Mercedes las líneas 17, 137, 409 que doblan a la izquierda en Fernández Crespo deberían hacerlo en la alternativa desde 18 de Julio. Para ello se debería habilitar una fase en el semáforo en esa intersección que lo habilite. De la misma manera, las líneas 124, 125, 127, 130, 133, 155, 169, 191, 402 y 456 que hoy giran a la izquierda en Rondeau deberían girar desde 18 de Julio hacia Paraguay.

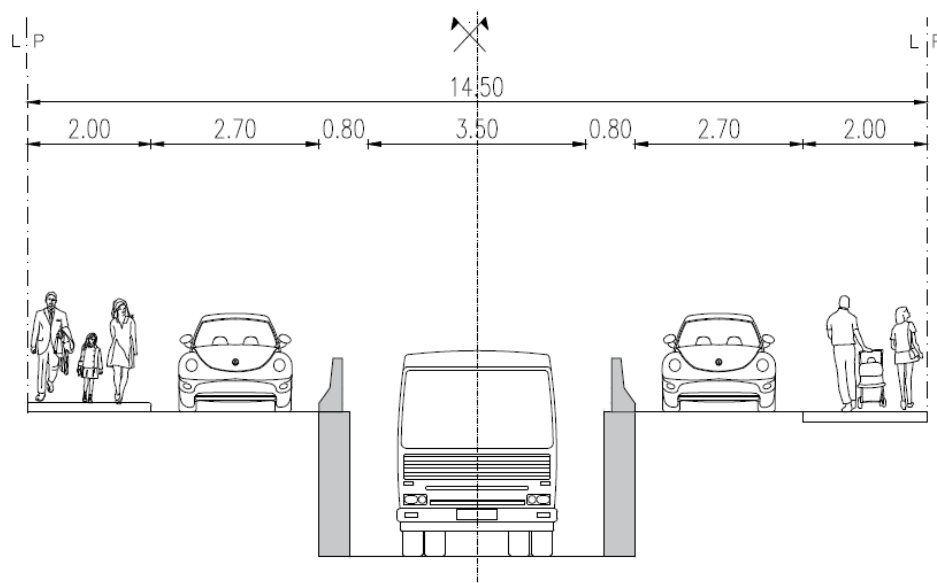
En el caso del transporte público que utiliza actualmente Colonia y que pasarían a 18 de Julio, las líneas 494, 582, 151 y BT1 (Bus turístico – Recorrido 1) deberían doblar a la derecha en Paraguay en vez de Rondeau como lo hacen actualmente y la línea 409 debería girar a la izquierda desde 18 de Julio hacia Magallanes. En este punto también debería asignarse una fase de giro a la izquierda en el semáforo, lo que deberá ser analizado en detalle por tratarse de una maniobra nueva que podría ser percibida como de riesgo peatonal además de provocar aumentos en las demoras en la intersección.

#### **4.5. A2-S BRT en superficie por Colonia y Mercedes con pasos inferiores**

La propuesta presenta una variante con dos pasos inferiores, correspondientes a estaciones en puntos críticos por limitaciones espaciales y densidad de flujos peatonales. Las estaciones en los pasos inferiores se ubican entre Ejido y Yaguarón, y entre Eduardo Acevedo y Dr. Tristán Narvaja. En ambos casos, se estima una extensión aproximada de 55 metros para la rampa de acceso y la totalidad de la cuadra para la estación subterránea. Estas intervenciones buscan preservar la regularidad del servicio y la seguridad peatonal en puntos de elevada complejidad operativa.

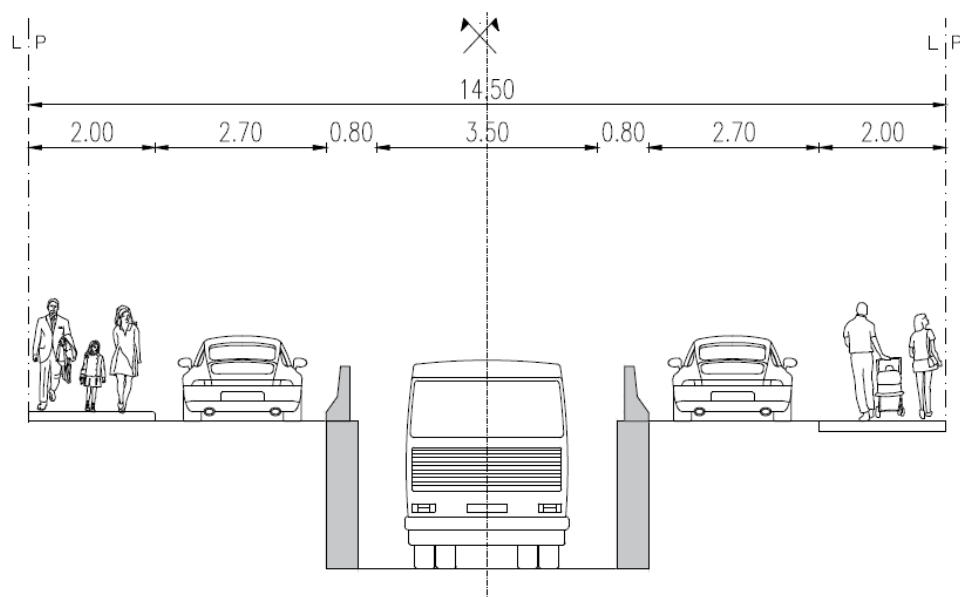
Las figuras siguientes ilustran las secciones transversales correspondientes a la rampa de acceso al paso inferior proyectado en los tramos donde se ubicará la Estación Ejido - Yaguarón y la Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja.

**Figura 4-19 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT Colonia.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-20 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT Mercedes.**



*Fuente: elaboración propia.*

En el diseño geométrico se contemplaron los mismos parámetros de pendiente longitudinal, galibo vertical requerido para el paso de vehículos y espesor estructural estimado del túnel que en la alternativa A1 BRT en 18 de Julio.

Las siguientes figuras muestran un esquema de la planimetría correspondiente a la Estación Ejido - Yaguarón y la Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para el BRT Colonia y Mercedes.

Los anchos de calzada y vereda son reducidos especialmente en Colonia en las proximidades de Fernández Crespo. En caso de implementarse esta alternativa se deberá analizar en la fase de diseño la viabilidad de esta obra con la sección aquí planteada o si es necesario realizar alguna modificación.

**Figura 4-21 Esquema de planimetría en Ejido - Yaguarón para BRT Colonia.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-22 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para BRT Colonia.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-23 Esquema de planimetría en Ejido - Yaguarón para BRT Mercedes.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-24 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para BRT Mercedes.**



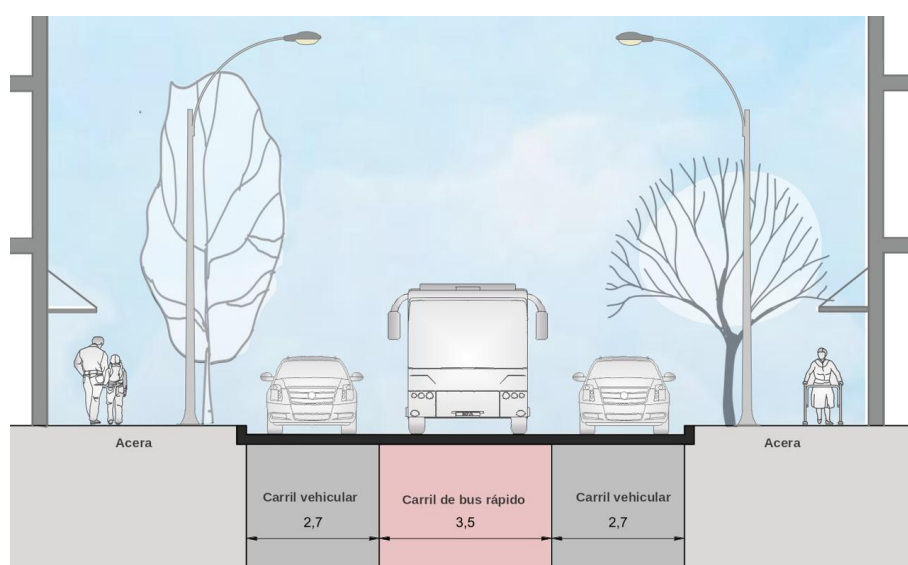
*Fuente: elaboración propia.*

#### **4.6. A3 BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia**

Esta alternativa propone una operación en superficie del sistema BRT con circulación en sentido hacia Plaza Independencia por Colonia y en sentido hacia Tres Cruces por 18 de Julio. La configuración se adapta a las características geométricas de cada eje, incorporando en ambos casos corredores exclusivos para buses biarticulados eléctricos y seis estaciones por sentido.

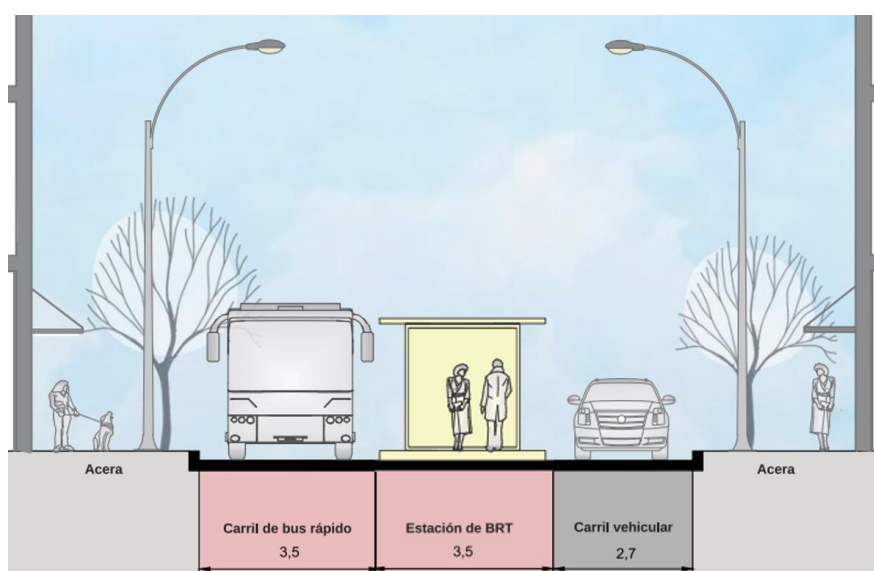
En Colonia, el perfil transversal prevé un carril central exclusivo para biarticulados eléctricos, un carril de circulación general a la derecha del corredor y un carril de servicio de velocidad reducida para permitir la salida de vehículos desde accesos particulares. En las cuadras donde se localizan estaciones, se suprime el carril de servicio y se dispone la parada en el centro de la calzada, por lo que la salida de vehículos frentistas debe realizarse sobre el carril de BRT.

**Figura 4-25 Corte transversal de la Alternativa A3 en Colonia.**



*Fuente: elaboración propia.*

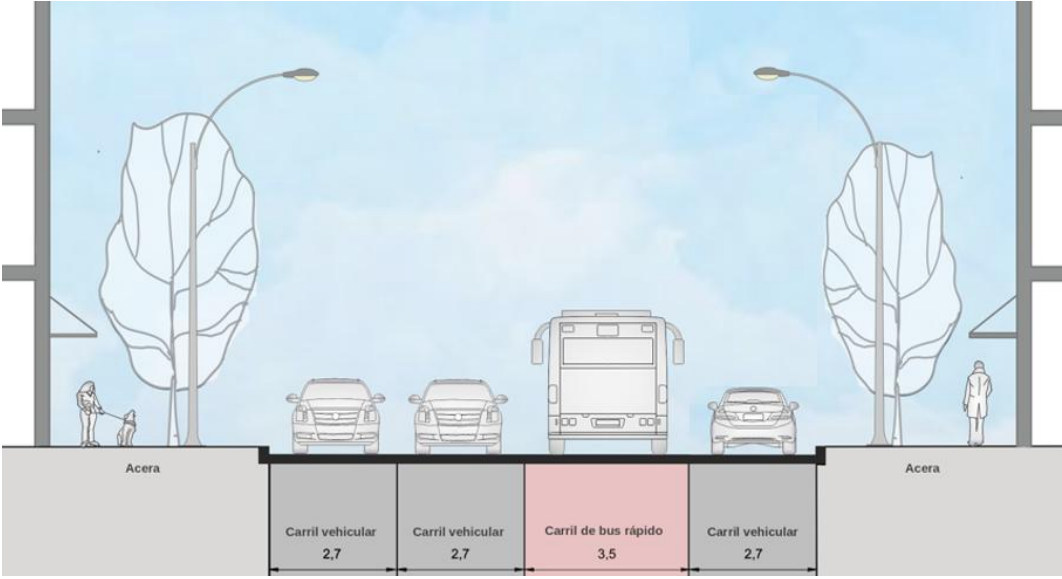
**Figura 4-26 Corte transversal de la Alternativa A3 en Colonia, con estación.**



*Fuente: elaboración propia.*

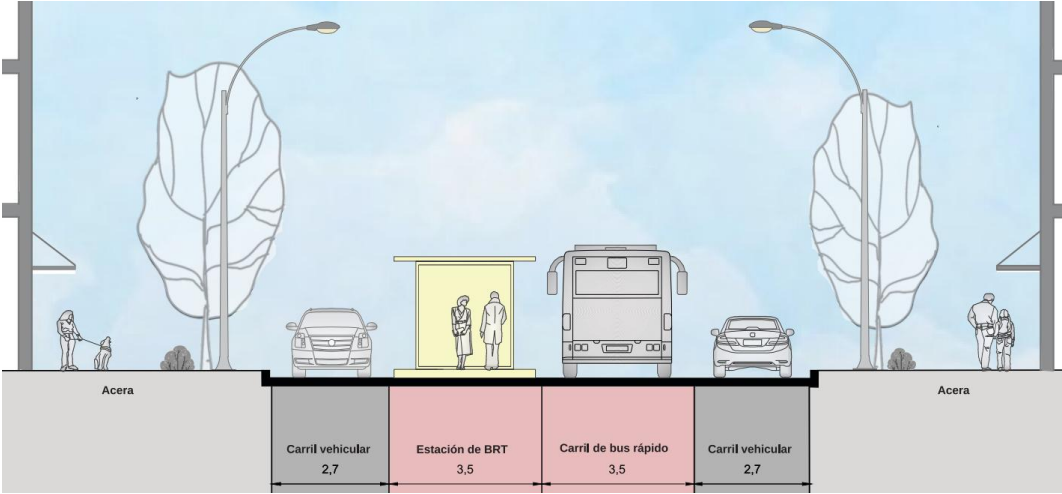
En 18 de Julio, el trazado se divide en tres tramos con configuraciones específicas. El Tramo 1, desde Plaza Independencia hasta Carlos Quijano, incluye un carril exclusivo para biarticulados eléctricos en sentido hacia Tres Cruces, dos carriles de circulación general en sentido hacia Ciudad Vieja, y un carril de circulación general adicional en sentido hacia Tres Cruces. En las cuadras con estaciones, se elimina el carril de servicio. El Tramo 2, entre Carlos Quijano y Constituyente, mantiene la configuración anterior e incorpora una bicisenda segregada en ambos sentidos. El Tramo 3, desde Constituyente hasta Bulevar Artigas, repite la misma estructura, aunque aquí el ancho de la faja pública es mayor.

**Figura 4-27 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano.**



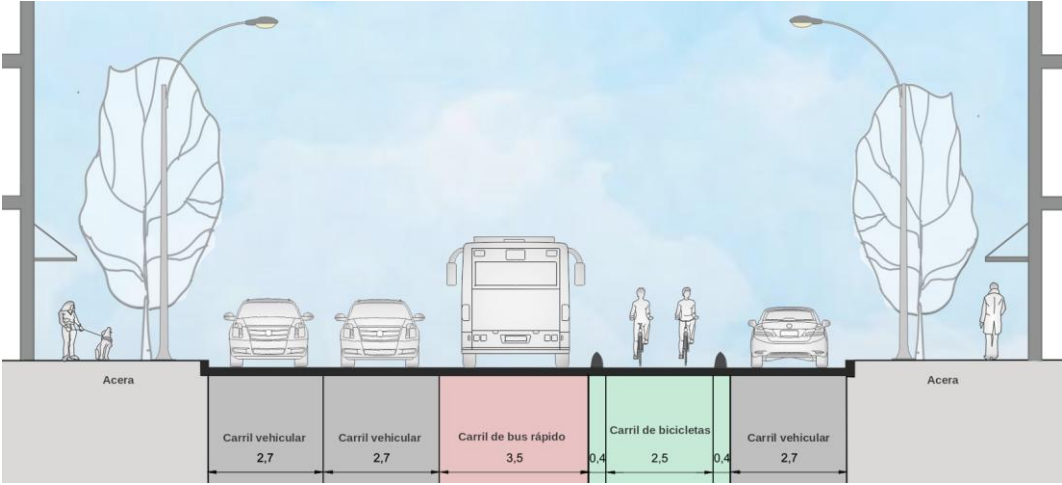
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-28 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Plaza Independencia y Carlos Quijano, con estación.**



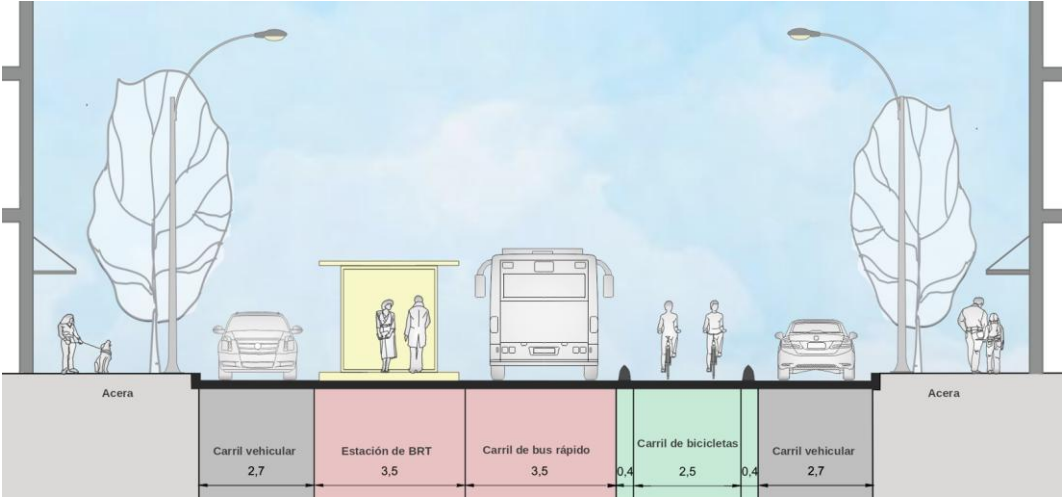
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-29 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente.**



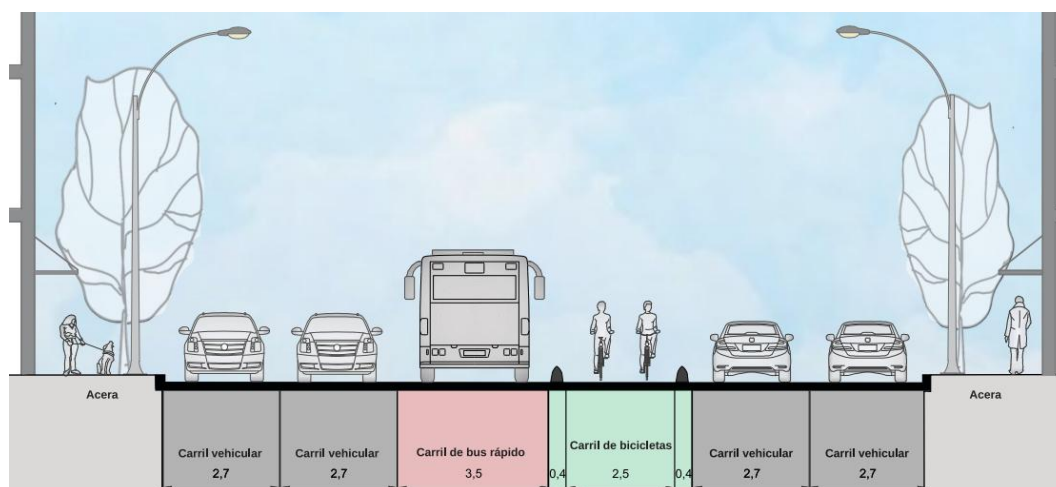
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-30 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Carlos Quijano y Constituyente, con estación.**



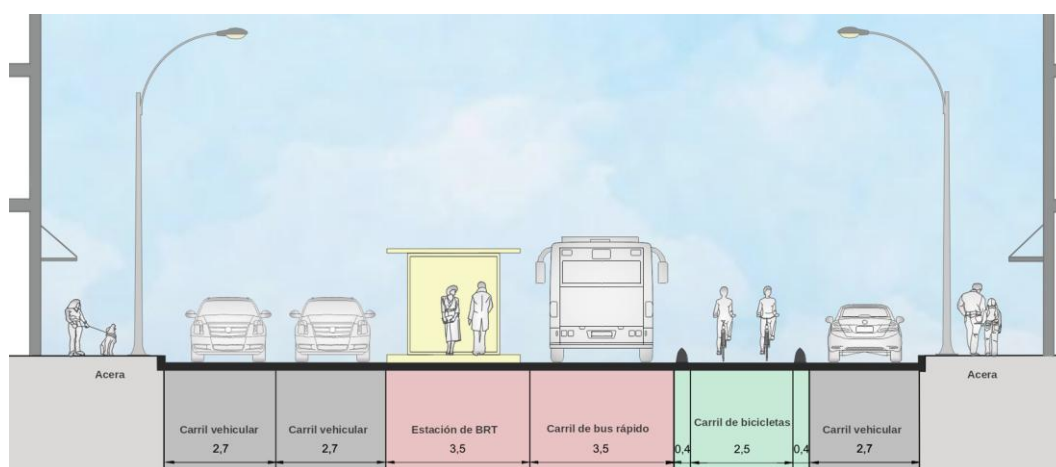
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-31 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-32 Corte transversal de la Alternativa A3 de 18 de Julio entre Constituyente y Bv. Artigas, con estación.**



*Fuente: elaboración propia.*

En 18 de Julio prácticamente no existen accesos a garajes o viviendas, y la presencia de carriles de tránsito mixto permite absorber cualquier necesidad de conexión puntual. En Colonia, los accesos a propiedades se mantienen a través de los carriles de servicio o los carriles generales, salvo en las cuadras con estaciones, donde la salida debe realizarse sobre el corredor BRT bajo condiciones específicas.

Las operaciones de carga y descarga deberán realizarse desde calles paralelas, en función de normativas específicas de horarios y sectores. Las calles adyacentes mantienen su funcionamiento actual. No obstante, se requiere reubicar las líneas de transporte público que actualmente operan por Colonia hacia 18 de Julio u otros ejes, ya que la calzada no permite el funcionamiento compartido con los biarticulados fuera del corredor.

La alternativa incluye seis estaciones por sentido, ubicadas en:

- Sentido Colonia (hacia Plaza Independencia):

- Entre Andes y Convención
  - Entre Río Negro y Paraguay
  - Entre Ejido y Yaguarón
  - Entre Minas y Magallanes
  - Entre Eduardo Acevedo y Fernández Crespo
  - Entre Requena y Paullier
- Sentido 18 de Julio (hacia Tres Cruces):
- Ubicaciones simétricas a las de Colonia

La conexión en el extremo norte se realiza con el intercambiador subterráneo de Tres Cruces, integrando el sistema troncal con redes suburbanas y metropolitanas. En el extremo sur, el recorrido se extiende hasta Ciudad Vieja mediante un circuito que vincula ambos sentidos de la línea. Se advierte, sin embargo, la necesidad de resolver interferencias en el punto de cruce entre los sentidos opuestos, lo que requerirá soluciones específicas de diseño y operación.

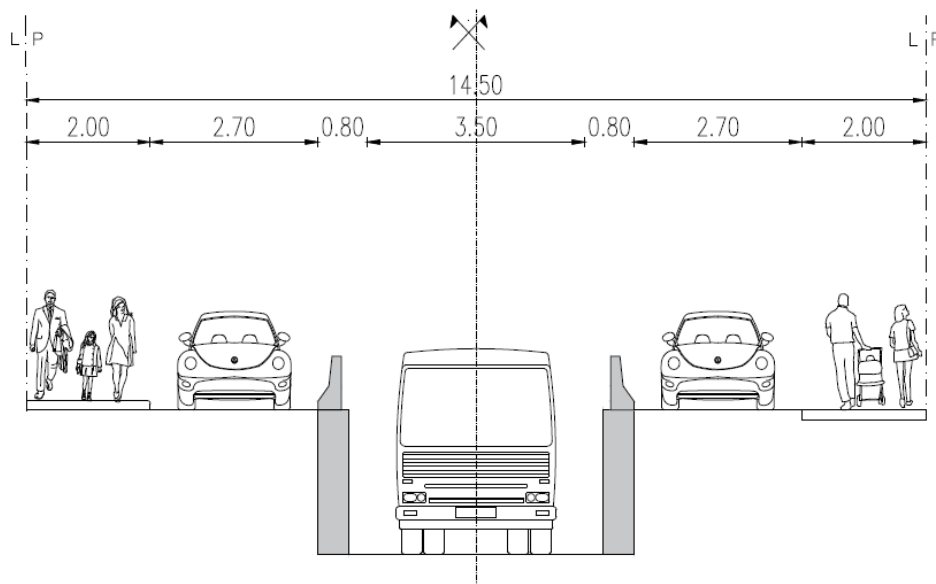
El transporte público que actualmente circula por Colonia deberá utilizar 18 de Julio en esta alternativa ya el perfil de las primeras perjudicaría sensiblemente la operación. Las líneas 582, 151 y BT1 (Bus turístico Recorrido 1) que circulan hacia el oeste, deberían doblar a la derecha en Paraguay en vez de Rondeau como lo hacen actualmente y la línea 409 debería modificar su recorrido actual por Colonia en sentido hacia Plaza España por una vía alternativa. En caso de circular por 18 de Julio, requerirá de un giro a la izquierda desde 18 de Julio hacia Magallanes, lo que requeriría de la asignación de una fase de giro a la izquierda en el semáforo, lo que deberá ser analizado en detalle por tratarse de una maniobra nueva que podría ser percibida como de riesgo peatonal.

#### **4.7. A3-S BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia con pasos inferiores**

La alternativa presenta una variante con dos pasos inferiores vinculados a estaciones localizadas en puntos críticos: entre Ejido y Yaguarón, y entre Eduardo Acevedo y Daniel Fernández Crespo. En ambos casos se prevé una longitud aproximada de 55 metros para las rampas de acceso y la totalidad de la cuadra para el desarrollo de la estación. Estas soluciones buscan reducir las interferencias operativas, proteger los flujos peatonales y mantener la funcionalidad del sistema en sectores de alta densidad urbana.

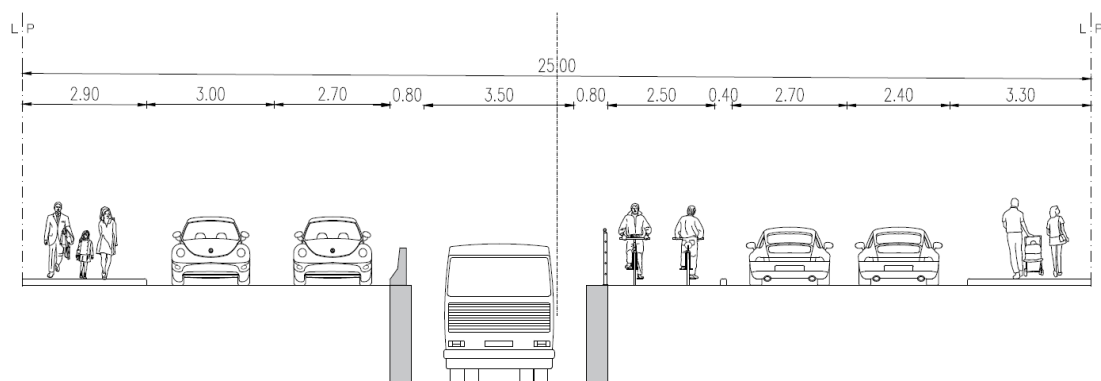
Las figuras siguientes ilustran las secciones transversales correspondientes a la rampa de acceso al paso inferior proyectado en los tramos donde se ubicarán las estaciones.

**Figura 4-33 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT Colonia**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-34 Esquema de sección transversal para rampas de acceso a estación subterránea para BRT 18 de Julio**



*Fuente: elaboración propia.*

En el diseño geométrico se contemplaron los mismos parámetros de pendiente longitudinal, gálibo vertical requerido para el paso de vehículos y espesor estructural estimado del túnel que en la alternativa A1 BRT en 18 de Julio.

Las figuras siguientes muestran un esquema de la planimetría correspondiente a la Estación Ejido - Yaguarón y la Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para el BRT Colonia y Estación Intendencia y la Estación Eduardo Acevedo – Daniel Fernández Crespo para 18 de Julio.

**Figura 4-35 Esquema de planimetría en Ejido - Yaguarón para BRT Colonia**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-36 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Dr. Tristán Narvaja para BRT Colonia**



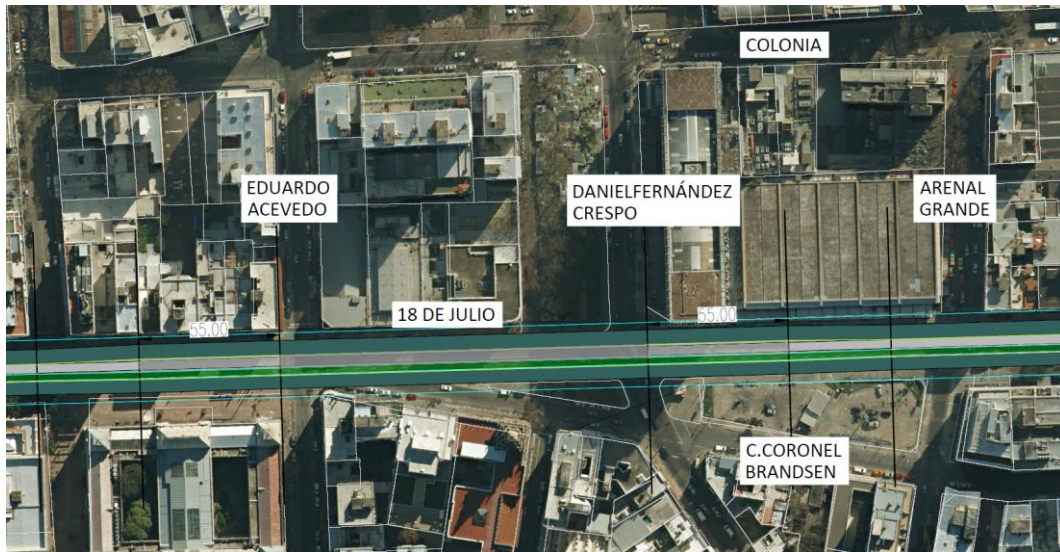
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-37 Esquema de planimetría en Estación Intendencia para BRT 18 de Julio**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 4-38 Esquema de planimetría en Estación Eduardo Acevedo – Daniel Fernández Crespo para BRT 18 de Julio**



*Fuente: elaboración propia.*

## 5. Viabilidad de soterramiento total en 18 de Julio

A continuación, se desarrolla un resumen del Anexo I que presenta los aspectos técnicos y constructivos de la alternativa soterrada (A0) del corredor entre Plaza Independencia y Tres Cruces, incluyendo las condiciones geológicas y geotécnicas del entorno, las secciones tipo propuestas, los métodos constructivos evaluados (Cut&Cover, NATM y tuneladora) y las instalaciones de seguridad requeridas según normativa internacional. Se analizan las ventajas y desventajas de cada metodología y los parámetros geométricos y funcionales del túnel.

El trazado de la alternativa soterrada inicia en Plaza de Independencia y dispone de dos accesos desde superficie mediante vías de 1 carril, para confluir y realizar el resto del trazado de forma paralela, alternando tramos de 2 y 3 carriles. Transita por la Avenida 18 de Julio girando en la parte final del trayecto hacia la Avenida 8 de Octubre hasta la llegada al intercambiador Tres Cruces.

El trazado dispone de seis paradas intermedias de 116 m de longitud, además de tramos considerados como andenes de seguridad de diferentes longitudes, tramos de 2 y 3 carriles, sumando a estos, transiciones de 60 m de longitud entre los tramos de 2 y 3 carriles.

### 5.1. Condiciones geológico-geotécnicas

En base a información geotécnica disponibles, en el entorno del trazado del proyecto se identifican tres formaciones geológicas principales: una cobertera superficial de suelos de la Formación Libertad (arcillas, limos y arenas), areniscas cementadas de la Formación Fray Bentos y rocas ígneas o metamórficas del Basamento Cristalino de la Formación Montevideo (granito o gneis).

La profundidad del techo del sustrato rocoso es variable, siendo más profunda en zonas como Tres Cruces y 8 de Octubre, y más superficial en la Plaza Independencia. El espesor de la cobertera de suelos es mayor en las zonas de Tres Cruces y Avenida Italia.

Aunque no se registró napa freática en la mayoría de los sondeos, se observaron filtraciones puntuales en algunos sectores, como entre Convención y Julio Herrera y Obes, por lo que no se descarta su presencia, especialmente en la interfase suelo-roca.

La Formación Libertad está constituida por arcillas y limos, eventualmente con presencia de arena, predominantemente de coloraciones marrones; y suele presentar a lo largo del perfil niveles de carbonato de calcio, en nódulos o diseminado en la matriz. La Formación Fray Bentos se compone de rocas areniscas finas cementadas con carbonato cálcico, con consistencia dura a muy dura, aunque puede presentar una capa superficial meteorizada. El Basamento Cristalino está compuesto por rocas metamórficas del tipo Gneis, de grano medio a grueso, eventualmente atravesado por filones de aplitas y pegmatitas ricas en cuarzo, de alta dureza.

### 5.2. Descripción de métodos constructivos

En este apartado se recogen los principales métodos de ejecución de túneles, justificándose los que se consideran más adecuados, por las características y condiciones de contorno anteriormente expuestas.

Los métodos más comunes son los siguientes:

- Método Belga o Método tradicional de Madrid (M.T.M.): utiliza una excavación a sección partida; avance y destroza, usada para túneles cortos en suelos cohesivos como arcillas compactas. La excavación se realiza con martillos picadores manuales. Este método minimiza el riesgo de inestabilidad del frente. Sin embargo, requiere personal altamente especializado y ofrece bajos rendimientos.
- Método Alemán: este método permite la construcción de túneles de grandes luces, debido a la ejecución sucesiva, primero de pequeñas galerías en los hastiales, posteriormente una galería en la clave y para finalizar se ejecutan los hombros, seguido por la excavación de la zona central. Es adecuado para terrenos de pobres propiedades geomecánicas y zonas urbanas, similar al método Belga pero cambiando las fases de excavación y sostenimiento: hastiales, bóveda, destroza.
- Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.): permite una relajación del estado tensional del terreno alrededor de la excavación, lo que permite usar un sostenimiento más ligero. Es particularmente útil en túneles en roca y en excavaciones de grandes frentes abiertos con fases de avance y destroza. Es versátil y permite implementar tratamientos especiales de mejora del terreno.
- Método de ejecución con tuneladora: esta metodología se concibió inicialmente con el objetivo de realizar la excavación del túnel al amparo de una estructura rígida y resistente que, introducida dentro del túnel en ejecución, proporcionase un área estable y segura en la zona del frente de trabajo.
- Método Cut&Cover: es un método de construcción utilizado habitualmente para túneles superficiales donde se sostiene el empuje de los terrenos lateralmente mediante pantallas (continuas o discontinuas), se ejecuta la losa superior y se procede por último a excavar el terreno contenido entre la losa superior y las pantallas laterales (top-down).

### 5.2.1. Métodos constructivos seleccionables

De todos los métodos constructivos descritos en el punto anterior, se estiman como plausibles el método NATM, la ejecución del túnel mediante tuneladora y de igual forma mediante Cut&Cover. El resto de los métodos (Método Belga y Alemán) no serían de aplicación en el presente estudio dado que no cumplen a priori los condicionantes para los que son aplicables.

#### ■ Solución Túnel en mina

La presencia del sustrato rocoso entre 7 y 14 m de profundidad puede permitir que la totalidad de la sección del túnel en mina se excave en roca, si el trazado profundiza lo suficiente. Las condiciones geotécnicas permiten la excavación mediante métodos convencionales o tuneladora.

La campaña geotécnica debe estar orientada a reconocer el techo del sustrato rocoso, y el contacto entre las areniscas y el granito, caracterizando la resistencia, deformabilidad y excavabilidad de ambas unidades rocosas. En caso de usar tuneladora, se recomienda evitar frentes mixtos suelo-roca, ajustando la rasante del trazado.

En ambos métodos, es habitual y aconsejable considerar unos recubrimientos mínimos sobre clave del túnel, del orden de 1,5 a 2 veces el diámetro de la excavación/anchura de excavación.

## ■ Solución túnel Cut&Cover

Debido al espesor de la cobertera (7 a 14 m) y al ámbito urbano, se descarta la excavación a cielo abierto ataluzada, sin medidas de contención. Las estructuras de contención se empotrarán en el sustrato rocoso. La solución de pantalla de pilotes puede resultar ventajosa si se confirma la ausencia de napa freática; en caso contrario, será necesario optar por pantallas continuas de hormigón. Ante presencia del sustrato rocoso y la necesidad de empotrar en él, estas pantallas deberían ejecutarse mediante hidrofresa.

La campaña geotécnica deberá caracterizar en detalle tanto el horizonte de suelos como la profundidad de la napa freática. Asimismo, será necesario implementar un plan de monitoreo para el control de movimientos en los edificios.

### 5.2.2. Métodos constructivos propuestos

A continuación, se describirán las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos seleccionables, explicados con detalle en puntos anteriores del presente informe:

#### ■ Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.):

Ventajas:

- Bajo impacto superficial. No interrumpe la actividad en superficie ni afecta a las instalaciones, con la salvedad de las deformaciones que se puedan inducir por la construcción del túnel.
- Más flexible en trazado. Permite adaptarse a geometrías complejas.
- Adaptabilidad al terreno. Permite ajustar el sostenimiento según las condiciones geológicas encontradas durante la excavación, ante cambios en la geología del frente de excavación.
- Coste potencialmente menor. En terrenos favorables, suele ser más económico que métodos mecanizados como la tuneladora.
- Control de deformaciones. El monitoreo continuo permite controlar y aprovechar las deformaciones del terreno para estabilizar el túnel.
- Flexibilidad de diseño. Se puede aplicar a secciones variables y formas irregulares, útil en túneles con bifurcaciones o estaciones subterráneas.
- Menor necesidad de maquinaria pesada. Puede realizarse con equipos más ligeros, lo que facilita su uso en zonas de difícil acceso.

Desventajas:

- Mayor coste y plazo. A priori requiere mayor plazo y coste que el método mediante Cut&Cover.
- Mayor complejidad técnica: exige maquinaria especializada y personal capacitado en el área de obras subterráneas.
- Posible necesidad de voladuras en zona urbana según propiedades de las rocas a excavar.
- Mayor riesgo en terrenos inestables. En suelos blandos o con presencia de agua, puede ser más peligroso y requerir de refuerzos adicionales.

- Bajo rendimiento. En función de los terrenos a atravesar, la excavación y sostenimiento puede requerir que se ejecute por fases, lo cual puede ralentizar el rendimiento de obra.
- Mayor dependencia del personal técnico. Requiere supervisión constante y decisiones en tiempo real por parte de ingenieros geotécnicos experimentados.
- Condiciones de trabajo más exigentes. Puede implicar más exposición del personal a zonas inestables durante la excavación.
- Impacto en superficie si no se controla correctamente la ejecución. Si no se gestiona adecuadamente, puede generar asentamientos en superficie, especialmente en zonas urbanas.
- Necesidad de profundizar las estaciones para poder obtener entre 1,5-2 diámetros de cobertera como dimensión aconsejable. Esto puede generar niveles intermedios de apuntalamiento debido a la profundidad en las paradas/estaciones que no son necesarios en la solución mediante el método Cut&Cover.
- Salidas de emergencia profundas.

#### ■ Tuneladora:

##### Ventajas:

- Sin impacto en la superficie a lo largo de la traza. Ejecutado de forma correcta la tuneladora no genera afecciones en superficie o estas pueden considerarse como mínimas.
- Minimiza el riesgo de asentamientos del terreno que podrían afectar edificios cercanos, controlando la presión en el frente de excavación, según los terrenos a atravesar.
- Alta precisión en la ejecución de las obras, bajo el control de especialistas.
- Las tuneladoras permiten trazar trayectorias complejas con gran exactitud, ideal para entornos urbanos densos.
- Una vez en funcionamiento y con los ajustes necesarios iniciales, la tuneladora puede avanzar de forma continua con altos rendimientos, lo que mejora la eficiencia en grandes longitudes.

##### Desventajas:

- Inversión inicial considerable para la fabricación de la tuneladora. No se llega a amortizar para tramos de poca longitud.
- Para la adquisición, transporte y montaje de una tuneladora no sólo se requiere de una alta inversión inicial, sino que se debe considerar un plazo especialmente alto, sobre todo para proyectos de poca longitud (<4 km). Tiempo estimado de fabricación de tuneladora no menor a 1 año.
- Requiere planificación detallada, construcción de pozos de ataque y salida (con el impacto que generan los citados pozos en superficie en un entorno urbano), y logística compleja.
- Limitaciones geológicas. En el caso de atravesar suelos heterogéneos añade complejidad a la elección y fabricación de la tuneladora, lo cual puede conllevar mayor inversión

inicial en la fabricación de esta por necesidad de contemplar especificaciones concretas según el terreno existente a lo largo de la traza.

- Alta especialización para el manejo y mantenimiento de la tuneladora.
- En el caso de un fallo mecánico en el funcionamiento de la tuneladora, las reparaciones pueden ser complicadas, impactando en plazo y costes.
- Necesidad de espacio en superficie para pozos de ataque o implantación de la tuneladora de grandes dimensiones (aprox. 20.000 m<sup>2</sup> dependiendo del tipo de tuneladora a aplicar) y pozo de salida para el desmontaje y extracción de la máquina (aprox 5.000 m<sup>2</sup>). Por ende, se necesitan áreas de grandes dimensiones, lo que puede ser un reto en zonas densamente urbanizadas.
- Necesidad de profundizar las estaciones para poder obtener entre 1,5-2 diámetros de cobertera como dimensión aconsejable. Esto puede generar niveles intermedios de apuntalamiento debido a la profundidad en las paradas/estaciones que no son necesarios en la solución mediante el método Cut&Cover.
- Salidas de emergencia profundas.

■ Método Cut&Cover:

Ventajas:

- Bajo coste: suele ser más económico en términos de materiales y maquinaria.
- Plazo más corto: ejecución más rápida, especialmente en suelos blandos.
- Método sencillo: tecnología convencional y ampliamente disponible.
- Posibilidad de ejecución por partes, afectando parcialmente por tramos en función de los desvíos de tráfico posibles, planificados a su vez considerando el calendario a conveniencia de los intereses sociales.
- Facilita rápidamente el tráfico por encima una vez ejecutada la losa superior (top-down).
- Económico para túneles poco profundos. Este método es competitivo para profundidades entre 10-12 m. Menores costes que métodos como tuneladoras o NATM cuando el túnel está cerca de la superficie.
- Construcción rápida por tramos. Permite avanzar por secciones y con equipos convencionales de obra civil. Posibilidad de implementar tantos equipos de trabajo de forma simultánea como se considere razonable y posible.
- Gran adaptabilidad o versatilidad. Se pueden construir secciones de túnel de formas y tamaños variados con facilidad, adaptándose a las necesidades funcionales en cada momento.
- Accesibilidad para instalaciones. Facilita la colocación de servicios (drenaje, ventilación, cableado) durante la construcción.
- Salidas de emergencia poco profundas.

Desventajas:

- Alto impacto e interrupción de superficie: afecta el tráfico, comercio, servicios y actividad urbana durante la obra.

- Reposición de superficie. Implica costes adicionales para el desvío de servicios afectados.
- Limitado por profundidad. No es competitivo si la profundidad es elevada.
- Mayor riesgo de interferencias. Necesidad de estudio pormenorizado de los servicios que puedan verse afectados. Igualmente podría darse el caso de interferir con cimentaciones o arqueología urbana.
- Condiciones ambientales adversas. Impacto ambiental alto en relación con la afección a las personas durante la ejecución de las obras por la ocupación temporal del espacio urbano.
- En zonas con nivel freático alto o suelos inestables, puede requerir sistemas de contención y drenaje costosos.

### 5.3. Definición de sección tipo

La elección del método constructivo, que depende a su vez de los condicionantes geotécnicos, determina en buena medida la geometría de cada sección tipo de túnel. En el caso de las tuneladoras, la sección será circular con un radio único. Los túneles construidos con métodos convencionales suelen tener una sección en forma de herradura, con una bóveda curva o de varios radios, adaptándose a la calidad del terreno. En terrenos más complejos, se utiliza una contrabóveda semicircular, mientras que en terrenos de roca sana no es necesaria.

Para el caso del método mediante Cut&Cover, si bien no impacta en la sección tipo, es igualmente importante considerar las propiedades reales del terreno y la ubicación del nivel freático, con el fin de definir correctamente la tipología de la maquinaria a utilizar, ya sea mediante pilotadora o pantalladora.

A partir de los condicionantes previos, en el Anexo I se presentan las secciones tipo del túnel para las alternativas de mina, tuneladora y Cut&Cover, tanto para 2 como para 3 carriles.

Para todas las alternativas, se definen los siguientes parámetros comunes:

- Túneles de doble y triple vía
- Ancho de carriles de 3,5m
- Altura de gálibo vehicular de 4 m y gálibo peatonal de 2,25 m
- Anchura de gálibo peatonal y acera o pasillo de evacuación de 1,1 m, con barandilla de seguridad (10cm)
- Media caña para recogida de aguas de infiltración.
- Caz de drenaje de plataforma de 300 mm. y colectores de hormigón de 300 mm
- Tolerancia de construcción superior a 10 cm, ajustable en Cut&Cover
- Altura de pasillo de evacuación de 15 cm respecto de la rasante.
- El drenaje incluye colectores laterales con arquetas cada 25/50 m

Específicas para la alternativa mediante NATM:

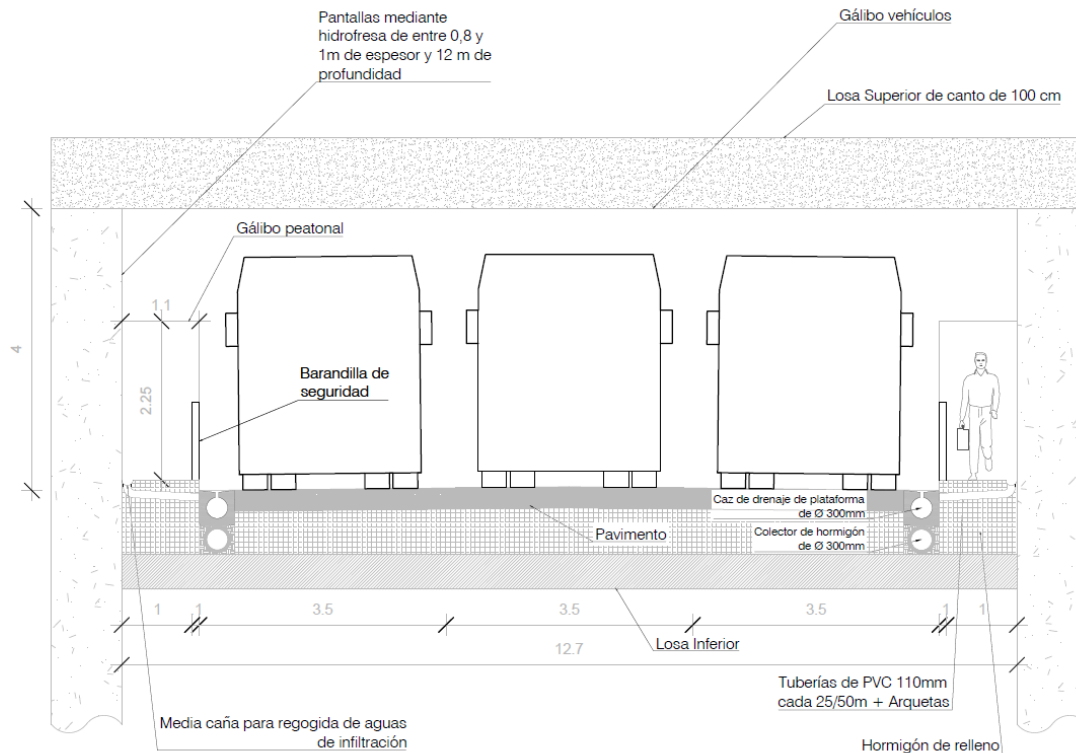
- Sostenimiento de espesor variable en función de los parámetros resistentes, obtenidos de las prospecciones geotécnicas correspondientes que se deberán llevar a cabo para la definición de los terrenos a atravesar

- Revestimiento de hormigón de al menos 30 cm y tubo dren de trasdós para infiltraciones
- Hormigón de limpieza en los hastiales de al menos 10 cm

Específicas para la alternativa mediante tuneladora:

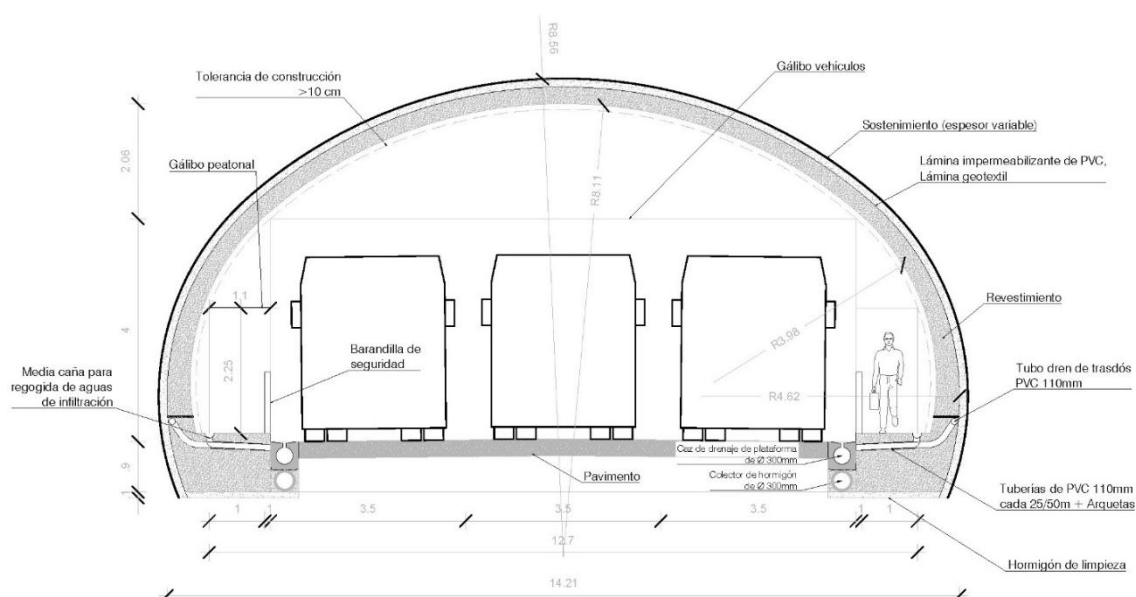
- Dovelas de al menos 40 cm para 2 carriles y 55 cm para 3 carriles.
- Gap para inyección de mortero de 15 cm

**Figura 5-1 . Sección tipo 3 carriles. Cut&Cover (Baja cobertera)**



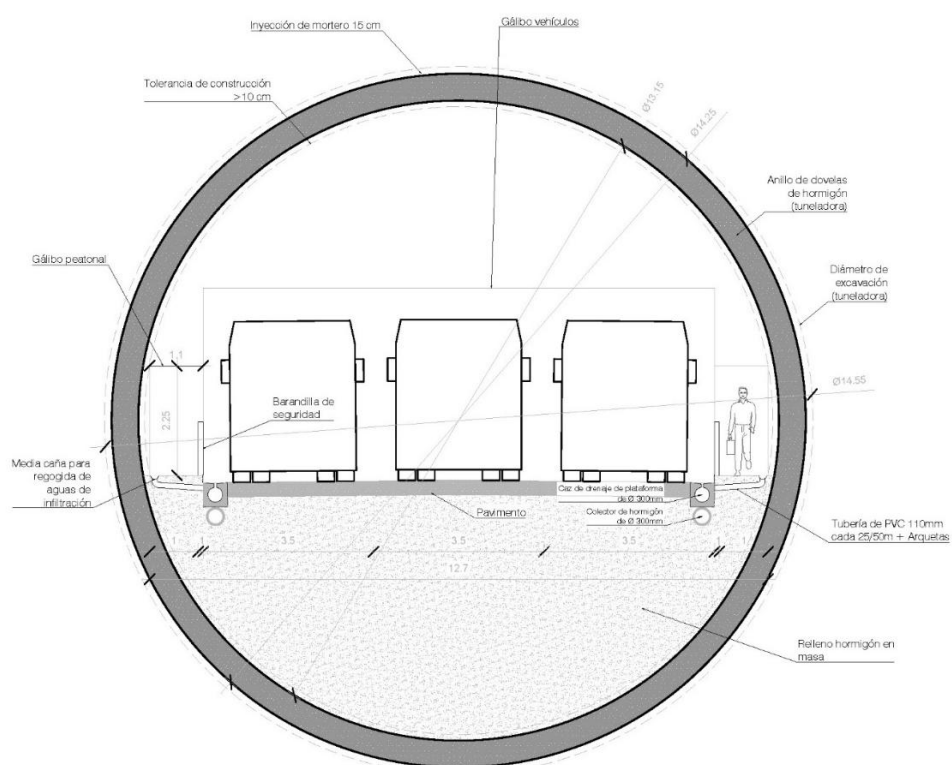
*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 5-2 Sección tipo 3 carriles. NATM**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 5-3 Sección tipo 3 carriles - Tuneladora. Diámetro de excavación  $\varnothing=14,55$  m**



*Fuente: elaboración propia.*

#### 5.4. Instalaciones de seguridad

Esta sección define las instalaciones necesarias para garantizar las instalaciones mínimas necesarias de seguridad en el soterramiento entre Plaza de Independencia y el intercambiador Tres Cruces. Debido a la falta de normativa, se toma como referencia la normativa española y europea del Real Decreto español 635/2006 sobre Requisitos Mínimos de Seguridad en los Túneles de Carreteras del Estado.

Las características del soterramiento son las siguientes:

- Tipo de tráfico: bidireccional.
- Longitud: 3.738,06 m.
- Intensidad de tráfico por carril igual o inferior a 1.000 veh/día.
- Entorno: urbano.

En consecuencia y ante la ausencia de normativa nacional, el soterramiento entre Plaza de Independencia y el intercambiador Tres Cruces se encuentra clasificado dentro del apartado 2.21.2.1.2 del Real Decreto 635/2006, "Túneles de longitud mayor que 1.000 metros con una IMD por carril igual o inferior a 1.000 veh/día". Las necesidades mínimas de equipamiento correspondientes a esta categoría son las siguientes:

- Aceras.
- Salidas de emergencia.
- Drenaje de líquidos tóxicos.
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Suministro eléctrico.
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Detectores de CO.
- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios.
- Puestos de emergencia.
- Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Megafonía.
- Red de hidrantes.
- Aforadores.
- Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).
- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.
- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
- Detección automática de incidentes.
- Paneles de señalización variable.

De acuerdo con el RD 635/2006, se profundiza en las características de las instalaciones de seguridad mencionadas anteriormente, el detalle se presenta en el Anexo I.

## 5.5. Conclusiones

Como principal conclusión y como denominador común para las tres alternativas seleccionables, cabe señalar que todas pueden ser opciones plausibles de ser llevadas a cabo desde un punto de vista de viabilidad técnica y a expensas de resolver las incertidumbres existentes en el momento de redacción del presente Estudio de Viabilidad.

No obstante, existen diferencias que hacen que unas alternativas sean más eficientes u óptimas que otras, en función de las variables estudiadas. De igual forma es necesario señalar que etapas como pueden ser, a modo de ejemplo, la operación de la infraestructura, el mantenimiento o el análisis pormenorizado del funcionamiento de las paradas (estudio de flujos de personas, layout de arquitectura, entre otros), no han sido conceptos o variables incluidos en el presente Estudio de Viabilidad.

Igualmente, puntualizar que es imprescindible realizar una campaña geotécnica intensiva que defina con total claridad la geología y geotecnia presente a lo largo de todo el recorrido, con el fin de poder confirmar y/o corregir el desarrollo del presente informe, que no hace más que marcar unos lineamientos generales para la posible toma de decisiones que ayuden a seguir adelante con el desarrollo del proyecto.

Analizados los antecedentes de los que se dispone en el momento de redacción del presente informe y en función de las puntuaciones obtenidas en base a las ponderaciones establecidas en la matriz de alternativas, existen dos métodos que parecen ser óptimos para el desarrollo del Proyecto, considerando este tipo de intervención en zona urbana:

- Método mediante C&C+NATM (Combinación 2).
- Método mediante Cut&Cover (Combinación 3). Óptimo en plazo y coste.

No obstante, con la prudencia que conlleva emitir una opinión al respecto, desde un enfoque únicamente de la ejecución de la obra civil para el soterramiento y, dadas las incertidumbres señaladas a lo largo del documento que deberán resolverse en etapas posteriores del proyecto, se estima que la solución que mejor se adaptaría a las condiciones de contorno establecidas sería la de aplicar el método mediante Cut&Cover (Combinación 3).

Será por tanto necesaria la suma de todos los estudios correspondientes para poder definir cuál de las alternativas de soterramiento se puede considerar como la más aconsejable y que abarque todos los enfoques y análisis necesarios en este tipo de toma de decisiones.

Por otro lado, esta conclusión acerca de la aplicación del método Cut&Cover (Combinación 3), no hace más que poner en valor experiencias internacionales que a la fecha de la redacción del presente informe se están ejecutando en unas condiciones similares, donde se está aplicando la metodología señalada.

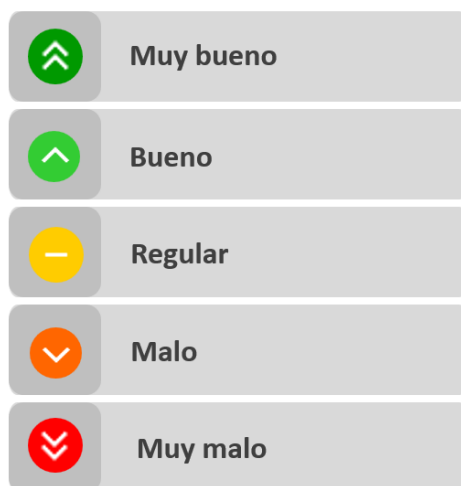
La sencillez de ejecución, tecnología convencional ampliamente disponible y, la posible tramificación y ejecución por tramos de esta alternativa, hacen que ésta sea versátil, rápida y con un coste razonable para el tipo de intervención en cuestión. Evidentemente sin obviar las interferencias que se producirán en superficie y las afecciones al entorno, que no son menores y conllevarán gran dedicación no sólo a nivel de desarrollo del proyecto de ejecución, sino a nivel de desarrollo de las obras, en caso de ser la alternativa señalada la finalmente elegida.

## 6. Construcción de matriz multivariable

A efectos de comparar las alternativas, se construyó una matriz multivariable con quince variables organizadas en cinco áreas temáticas —técnicas, urbanas y ambientales, operativas, estratégicas y económicas—, cubriendo así tanto la factibilidad y los riesgos como los efectos urbanos, el desempeño operativo y los costos. La matriz fue el marco común para integrar los aportes de distintas disciplinas y permitió analizar cada alternativa desde una perspectiva homogénea y comparable entre áreas.

Para cada variable, uno o más especialistas emitieron su valoración sobre cada alternativa. Con el fin de unificar criterios entre disciplinas, se adoptó una escala común de cinco escalones —Muy malo, Malo, Regular, Bueno y Muy bueno—, definida de modo que las condiciones con menores impactos o mayores beneficios resultaran más favorables. Siempre que fue posible, los equipos establecieron indicadores de referencia para cuantificar estas valoraciones y reforzar la trazabilidad técnica del juicio experto. Esta escala es la base de la comparación transversal en la matriz.

**Figura 6-1 Escala utilizada para comparación de alternativas**



*Fuente: elaboración propia.*

Con todas las valoraciones consolidadas, se realizó la comparación entre alternativas mediante el promedio por área temática: para cada alternativa se promedió el desempeño de sus variables dentro de cada área, lo que permitió identificar en qué escenarios temáticos era relativamente superior o rezagada. Este paso ofreció una lectura sintética y consistente del desempeño por dominios, facilitando la interpretación y la comunicación de resultados en la evaluación multicriterio presentada en el informe.

Finalmente, sobre esa base se planteó un análisis de robustez, que se detalla más adelante. Dicho análisis explora la consistencia de los resultados frente a distintas combinaciones de criterios y supuestos, ponderando las alternativas para comprobar en qué proporción de escenarios cada una aparece como mejor valorada.

## **6.1. Técnicas**

Las primeras variables analizadas corresponden a los riesgos y requerimientos constructivos en cada una de las alternativas. Debido a las complejidades que conlleva realizar obras soterradas y en particular túneles, se elaboró durante esta consultoría un estudio particular de los métodos constructivos viables para el caso de 18 de Julio. Se puede encontrar el estudio completo en el Anexo “Estudio de Viabilidad Soterramiento BRT” y un resumen de los principales conceptos en la sección 5.

En la presente sección se describen las principales conclusiones del estudio realizado y se presentan las valoraciones de cada una de las alternativas para las dos variables estudiadas.

### **6.1.1. Riesgos constructivos**

La construcción de infraestructura soterrada urbana en el contexto de los Corredores Metropolitanos sobre la Av. 18 de Julio en Montevideo representa un desafío técnico de alta complejidad. Esta avenida, como arteria principal del centro de la ciudad, combina un denso tejido urbano, un alto flujo vehicular y peatonal, y una infraestructura subterránea preexistente que incluye redes de saneamiento, telecomunicaciones, energía y agua potable. En este contexto, se identifican y analizan los siguientes riesgos constructivos relevantes.

Las obras en superficie, si bien conllevan riesgos constructivos, son claramente menores que las que implican grandes excavaciones. En esta sección se hace foco en los riesgos asociados a las obras soterradas que generan diferencias entre las distintas alternativas propuestas.

#### **6.1.1.1. Identificación de riesgos en obras soterradas**

##### **■ Geotécnicos y estructurales**

La ejecución del túnel conlleva diversos riesgos geotécnicos y estructurales que deben ser cuidadosamente evaluados.

En primer lugar, la excavación podría generar inestabilidad del terreno, especialmente en presencia de estratos heterogéneos, agua subterránea o rellenos antiguos, lo que comprometería la seguridad de la obra y del entorno.

Asimismo, existe el riesgo de asentamientos diferenciales que podrían afectar negativamente a edificaciones colindantes, muchas de las cuales poseen valor patrimonial o arquitectónico.

Por último, las vibraciones generadas durante las labores de excavación y tunelado representan una amenaza para estructuras antiguas sensibles, por lo que se requerirá un monitoreo constante y la aplicación de técnicas constructivas adecuadas.

##### **■ Interferencia con infraestructura subterránea existente**

Uno de los principales riesgos está relacionado con la interferencia y posible daño a las redes de servicios existentes. La zona contiene una densa red de infraestructura (cañerías de agua, saneamiento, electricidad, fibra óptica, gas, etc.) que puede verse interrumpida o dañada.

Cualquier error en la identificación de ductos y cables puede derivar en cortes de servicios esenciales, afectando a residentes, comercios e instituciones públicas de la zona. La reparación de estos daños implica sobrecostos y retrasos.

En la sección 5.4.2 se realiza un análisis de cuáles serían las afectaciones previstas para la infraestructura subterránea, sin embargo, el riesgo de dañar infraestructura de servicios permanece por la posibilidad de ocurrencia de accidentes o problemas vinculados a la precisión de la información de ubicación de los elementos.

#### ■ Daños a edificaciones cercanas

Dada la antigüedad de muchas construcciones aledañas, el riesgo de asentamientos inducidos por excavaciones es significativo. El movimiento del terreno o una excavación mal controlada pueden generar grietas, deformaciones estructurales o, en casos extremos, comprometer la estabilidad de edificaciones patrimoniales o residenciales colindantes.

#### ■ Limitaciones espaciales y logísticas

La alta densidad urbana y el limitado espacio de maniobra dificultan la movilización de maquinaria pesada y el almacenamiento de materiales. Esto aumenta el riesgo de accidentes laborales, entorpece la logística de obra y obliga a una planificación altamente precisa para evitar bloqueos prolongados del tránsito y molestias a la ciudadanía.

### 6.1.1.2. Valoración de las alternativas

La valoración de los riesgos constructivos se basa en el producto entre probabilidad e impacto de los riesgos identificados. Se asume que, para intervenciones de tipología comparable, el factor que más hace crecer la probabilidad de contingencias constructivas es la longitud total de obras a desnivel previstas (túneles y pasos inferiores). Bajo este enfoque, a mayor longitud, mayor probabilidad de afectaciones al entorno urbano, desafíos geotécnicos y constructivos; por ende, mayor riesgo.

Con este criterio, y manteniendo supuestos de impacto similares entre alternativas de una misma familia, se asignan las siguientes notas (1 = riesgo muy alto, 5 = riesgo muy bajo):

- A0 – Túnel por 18 de Julio (longitud a desnivel: 3.750 m) – Nota 1  
Alternativa con la mayor longitud soterrada y, por tanto, la probabilidad más alta de contingencias durante obra. Se clasifica como riesgo constructivo muy alto.
- A1 – En superficie por 18 de Julio (0 m) – Nota 5  
Sin obras a desnivel. La probabilidad de contingencias es mínima. Riesgo constructivo muy bajo.
- A1 – En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores) (550 m) – Nota 5  
Se incorporan pasos inferiores puntuales y de alcance acotado. El aumento de probabilidad por longitud adicional es limitado y se considera que no modifica la categoría general de riesgo. Riesgo constructivo muy bajo.
- A2 – En superficie Colonia y Mercedes (0 m) – Nota 5

- Sin obras a desnivel. Probabilidad mínima. Riesgo constructivo muy bajo.
- A2 – En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores) (925 m) – Nota 4  
La longitud a desnivel intermedia eleva la probabilidad respecto a su versión 100% superficial. Riesgo constructivo bajo.
- A3 – En superficie 18 de Julio y Colonia (0 m) – Nota 5  
Sin obras a desnivel. Probabilidad mínima. Riesgo constructivo muy bajo.
- A3 – En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores) (1.000 m) – Nota 4  
Mayor longitud a desnivel dentro del conjunto de alternativas con pasos inferiores, con la consiguiente probabilidad incrementada. Riesgo constructivo bajo. A0: Esta alternativa presenta el riesgo constructivo más elevado. La ejecución de un túnel en una vía de alta densidad urbana implica excavaciones en suelos con nivel freático elevado, posibles condiciones geotécnicas adversas y una alta concentración de servicios subterráneos (eléctricos, sanitarios, comunicaciones, etc.). A esto se suma el impacto urbano-social y la complejidad técnica de la operación. Por estas razones, se clasifica como de riesgo constructivo muy alto.

En base al análisis realizado, y con el objetivo de facilitar la comparación entre las alternativas consideradas, se presenta a continuación una evaluación que busca sintetizar la gravedad de los riesgos constructivos esperados en cada caso.

**Tabla 6-1 Calificación de alternativas respecto a la riesgos constructivos**

Alternativa	Largo de obras a desnivel (m)	
A0 Túnel por 18 de Julio	3.750	⬇️
A1 En superficie por 18 de Julio	0	⬆️
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	550	⬆️
A2 En superficie Colonia y Mercedes	0	⬆️
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	925	⬆️
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	0	⬆️
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	1.000	⬆️

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.1.2. Requerimientos tecnológicos específicos

La evaluación de los requerimientos tecnológicos permite estimar la factibilidad técnica de cada alternativa en función del tipo de obra, su magnitud y el nivel de especialización necesario para su ejecución y operación. Este análisis busca identificar el grado de complejidad técnica y los recursos específicos que cada alternativa demanda, con el fin de anticipar implicancias en plazos, costos y riesgos constructivos.

La presente sección se organiza en dos partes complementarias. En primer lugar, se presenta una síntesis de las metodologías constructivas aplicables a los túneles, describiendo las principales técnicas de excavación, sostenimiento y terminación que pueden emplearse en el contexto urbano de Montevideo. En segundo término, se expone la valoración comparativa de las alternativas propuestas, considerando sus requerimientos tecnológicos específicos y el grado de complejidad que implican desde el punto de vista constructivo y operativo.

#### **6.1.2.1. Métodos constructivos para túneles**

De acuerdo con el análisis técnico desarrollado en el Estudio de Viabilidad (ANEXO I), para el presente proyecto resultan viables los métodos NATM, tuneladora (TBM) y Cut&Cover. En contraste, otras alternativas como los métodos Belga y Alemán se descartan, dado que no satisfacen las condiciones requeridas en este caso.

En este capítulo se presentan las principales ventajas y desventajas de los métodos considerados viables, mientras que un análisis más exhaustivo puede consultarse en el mencionado Estudio de Viabilidad (ANEXO I).

##### **■ Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.):**

El método de excavación en mina tradicional de Madrid es un método manual que excava la sección en dos partes: avance y destroza. A diferencia del NATM, está basado en el principio de ejecutar pequeñas excavaciones de avance en clave que limitan mucho el frente abierto. Se comienza la excavación con una galería de avance que se va entibando y recreciendo para formar la bóveda, pero siempre con un desfase longitudinal por cada etapa de ensanche. De esta manera el frente abierto por cada plano de excavación es de reducidas dimensiones, confiriendo unas condiciones de estabilidad más favorables. La destroza se construye después del avance, con cierto decalaje, y con una división secuencial en bataches para no descalzar la bóveda.

Las secciones a las que da lugar este método son arcos con un cierto rebaje en el avance y que cuentan con un ensanche en forma de pata de elefante en el apoyo. La destroza está formada por hastiales, generalmente rectos que se suelen unir a una contrabóveda curva para cerrar la sección, logrando así una elevada eficiencia estructural.

El sostenimiento provisional o entibación perdida es siempre cuajada a base de puntales de madera, longarinas metálicas y tablas, mientras que el revestimiento definitivo es de hormigón en masa bombeado (o armado en casos excepcionales).

La excavación de este tipo de mina es un método cuya aplicación es ventajosa en el caso de excavaciones en suelos que pueden afectar a infraestructuras o estructuras adyacentes y que requieran limitar las ocupaciones en superficie de la obra. Se ha de comprobar que la cobertera de suelo sobre la clave del túnel sea suficiente (por lo menos del orden de un diámetro), así, los movimientos inducidos en superficie por la excavación estarán acotados en valores relativamente bajos, compatibles con las estructuras existentes. Esto dependerá de las condiciones específicas de cada caso y de la proximidad relativa entre los elementos.

Siempre resulta compatible dicha praxis con el planteamiento de tratamientos previos del terreno (micropilotes, inyecciones, jet grouting, etc.), de uso especialmente destinado a zonas

de singularidad geotécnica o donde el riesgo de afección a edificios, infraestructuras o servicios deba ser mitigado.

Cuando la cobertera sobre el túnel es menor de un diámetro, los movimientos inducidos por la excavación crecen rápidamente y puede hacerse necesario recurrir a tratamientos de protección. Por debajo de medio diámetro de cobertera, la propia excavabilidad del túnel se puede ver comprometida, y los tratamientos para evitar movimientos suelen resultar muy intensos.

No obstante, el método tradicional está sometido a mayores incertidumbres que la excavación a cielo abierto, puesto que las condiciones del sustrato tan sólo son a priori conocidas con exactitud en los puntos investigados y en el momento de la investigación, siendo el resto de las condiciones geotécnicas extrapoladas e interpretadas a partir de estos datos.

Paralelamente al desarrollo de las obras subterráneas en entorno urbano, también han evolucionado los tratamientos de protección. Esta necesidad de tratamientos en determinadas condiciones supone una desventaja del procedimiento, puesto que requieren ocupaciones en superficie y habitualmente la ejecución de pozos para su materialización, lo que determina un incremento del coste de excavación del túnel.

Por otra parte, este método posee el inconveniente de que requiere un mayor número de mano de obra especializada que en el caso de la excavación mecanizada. Esta cualificación de la mano de obra es la única dificultad para la implementación eficaz de múltiples frentes de ataque de forma simultánea.

Un aspecto para destacar es su versatilidad, permitiendo su aplicación en tramos cortos, en entronques con secciones variables, en tramos de rasantes inclinadas, en zonas con incertidumbres, etc., resultando igualmente apropiado en el caso de cañones y galerías, complementado en caso necesario con los preceptivos tratamientos del terreno.

En este sistema de excavación, los frentes de avance no deben exceder los 5 m<sup>2</sup> para minimizar el riesgo de inestabilidades y evolución de subsidencias.

**Figura 6-2 Sostenimiento provisional en bóveda y apuntalamiento de longarinas según el Método Belga.**

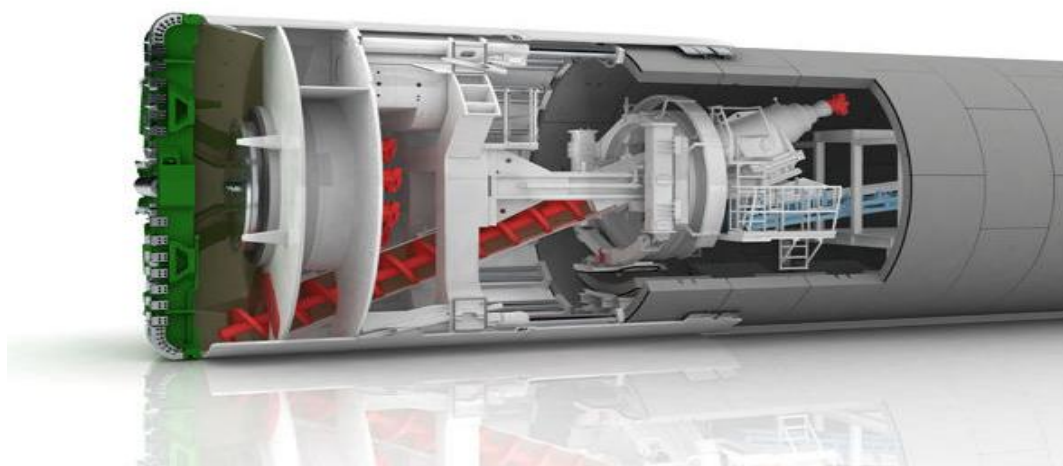


■ **Tuneladora:**

El procedimiento de excavación mediante tuneladora consiste en la ejecución del túnel de manera mecanizada, a sección completa y al abrigo de un escudo rígido que protege en el frente de excavación a los trabajadores de la obra. El ciclo de trabajo estaría formado básicamente por las siguientes acciones: excavación, regripping y montaje de anillo.

Este método de construcción se caracteriza por presentar unos rendimientos de excavación elevados, los cuales suelen oscilar de media entre los 350 y 400 m/mes para suelos y de 500-550 m/mes para roca. Además, también supone una mejora considerable en aspectos de seguridad frente a la excavación por métodos convencionales. Sin embargo, este método de excavación requiere de una inversión inicial considerable y dispone de menor versatilidad frente a cambios de las condiciones geotécnicas a lo largo de la traza. También requiere de una instalación de obra de gran superficie para poder incluir todas las instalaciones necesarias para el funcionamiento de toda la maquinaria. En esta área se deberían ubicar oficinas, acopio de dovelas, zona de desescombro, fábrica de dovelas, planta de mortero y demás requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento y avance de la excavación de la tuneladora. Dicha superficie debe situarse junto al emboquille de ataque. En cuanto a la planta de hormigón, esta puede considerarse dentro de la instalación de obra o bien externa a la obra con lo que ello supone a nivel de aumento de volumen de tráfico de camiones desde plantas externas hasta la obra.

**Figura 6-3 Tuneladora EPB para suelos blandos.**



■ **Método Cut&Cover:**

Una de las soluciones habituales para este tipo de estructuras en zona urbana es la de falso túnel, ejecutado mediante el método de Cut&Cover. Implementar la solución de túnel en mina o mediante tuneladora obligaría a ejecutar una rasante a mayor profundidad que con esta metodología, con los inconvenientes que ello supone, minimizando las dimensiones de los accesos y pozos (bombeo o emergencia) en caso de ser necesarios.

En la estructura de falso túnel se distinguirán tres elementos:

1. Losa superior.
2. Muros pantalla.
3. Losa inferior.

Con la información disponible, la geometría prevista para cada uno de estos elementos sería:

1. Losa superior: se debe tratar de ejecutar lo más superficial posible, minimizando así las excavaciones, siendo esta una de las mayores ventajas del método propuesto. Lo habitual en zona urbana es que la losa superior quede enterrada a 0,50 m y como máximo (en zona puntuales generalmente por necesidades de servicios) a 1,50 m.

Se distinguen tres tramos o zonas distintas:

- Sección para un carril, con una luz de cálculo aproximada para la losa de 5,60 m.
- Sección de vía doble con una luz aproximada de unos 9,2 m.
- Sección en la que se podrían encajar hasta tres carriles, con una luz aproximada de unos 12,70 m.

La solución habitual para este tipo de elemento sería mediante losa armada, que para cada uno de los casos anteriores los cantos serían:

- Sección para un carril, el canto de la losa podría ser de aproximadamente 0,50 m ejecutada mediante hormigón armado.
- Sección de vía doble con una luz de unos 9,2 m, en este caso el canto podría ser de unos 0,80 m, igualmente ejecutable mediante hormigón armado.
- Sección en la que se podrían encajar hasta tres carriles, con una luz de unos 12,70 m, este caso no sería recomendable bajar de un canto de 1,0 m en caso de hacerse de hormigón armado; si existe la necesidad de reducir el canto se puede recurrir a una solución prefabricada (vigas+losa in situ).

Los cantos anteriores vendrán muy condicionados por los rellenos sobre la losa, por lo que es recomendable minimizarlos, limitando de esta manera el canto.

2. Pantallas: la altura entre la cota inferior de excavación y la superficie variará entre los 6,0 y los 7,5 m (en función de la losa inferior o firme), lo cual quedaría cubierto con unas pantallas de aproximadamente 12 m de profundidad y un espesor de entre 0,80 y 1,0 m, en función de la proximidad de edificios y la altura.

La longitud de las pantallas citadas se deberá ajustar con los datos y posición real, analizando la necesidad de empotrar en roca y su longitud necesaria.

Para la ejecución de pantalla en roca resulta más sencillo el empleo de hidrofresa, lo que garantizará la continuidad y estanqueidad, lo cual podría evitar ejecutar revestimientos interiores o limitarlo a las zonas de acceso o paradas.

Al no existir napa freática no se debe descartar la posibilidad de ejecutar pantallas de pilotes, en este caso se podría recurrir a diámetros de entre 0,85 y 1,0 m, y separaciones de pilotes entre 1,30 y 1,50 m (en función de la cohesión).

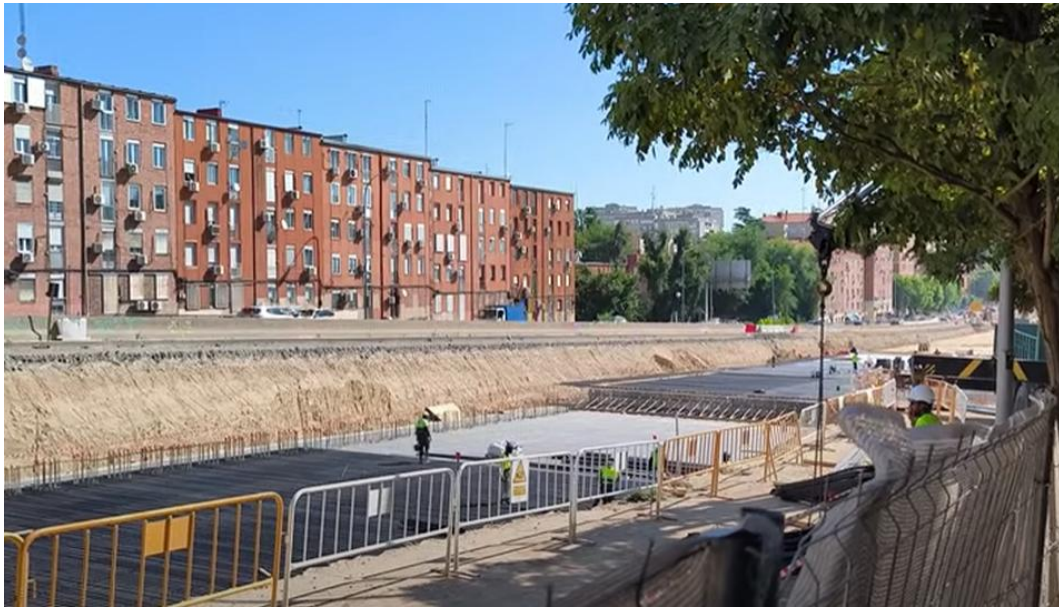
3. Losa inferior: aunque no sería estructuralmente necesaria, dependiendo del apoyo y paquete de firme (pavimento) a ejecutar, sí resulta recomendable, ya que además de acodalar las pantallas garantizará un comportamiento homogéneo del apoyo.

Con las dimensiones del ancho de las secciones previstas en las secciones propuestas, la losa inferior será de hormigón armado con un canto estimado entre 0,4 y 0,50 m.

Aunque no sea necesario se recomienda sellar la unión con las pantallas y conectar losa-pantalla.

El método Cut&Cover propuesto permitirá que la rasante del trazado sea más superficial, liberando el espacio ocupado una vez se ejecute la losa superior para trabajar con posterioridad bajo ella (método Top-Down), según se explicará en el siguiente apartado.

**Figura 6-4 Vista ejecución de losa superior Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid.**  
**Año 2025**



#### **6.1.2.2. Valoración de los requerimientos por alternativas**

Luego de presentar las ventajas y desventajas asociadas a los distintos requerimientos tecnológicos y con el objetivo de vincular esta información a las alternativas que se están analizando, corresponde destacar que el principal impacto en esta temática se concentra en las variantes que incorporan obras a desnivel, ya que su magnitud y complejidad superan significativamente a las soluciones a nivel.

En esta línea, los requerimientos constructivos se valoran considerando la tecnología necesaria para la ejecución, la disponibilidad de espacio para montaje y excavación, la interferencia con actividades urbanas y la magnitud de las medidas de mitigación y control requeridas. La extensión de las obras a desnivel no determina por sí sola la exigencia tecnológica de una alternativa, ya que tramos relativamente cortos pueden demandar métodos avanzados si se ubican en zonas sensibles o con condiciones desfavorables.

La evaluación se desarrolló integrando la magnitud, complejidad técnica y grado de especialización asociada a la ejecución de cada alternativa, especialmente en los segmentos a desnivel. Tal como se detalla en el estudio de viabilidad (ANEXO I), las soluciones que contemplan túneles o pasos inferiores requieren el uso de métodos constructivos específicos — como el NATM, TBM o Cut&Cover—, que conllevan exigencias tecnológicas significativamente superiores respecto a las alternativas que se desarrollan completamente a nivel de superficie.

A continuación, se presentan las justificaciones para cada caso:

- A0: Esta alternativa implica la ejecución de un túnel de gran extensión en pleno centro de Montevideo, lo que demanda tecnología de punta, alto grado de especialización, planificación logística compleja y sistemas de sostenimiento avanzados. Se requerirá una combinación de métodos como NATM o tuneladora, además de pozos de ataque y ventilación. Se clasifica como de muy altos requerimientos constructivos.

- A1, A2 y A3: La ejecución de estas tres alternativas se desarrolla enteramente en superficie, con tecnologías convencionales de obra vial y sin intervenciones subterráneas. Esto permite minimizar la necesidad de equipos especializados y reduce la complejidad de ejecución. Se considera una alternativa de muy bajos requerimientos constructivos.
- A1-S, A2-S y A3-S: Aunque la mayoría del trazado es superficial, los pasos inferiores incorporan zonas que requieren excavaciones profundas, uso de Cut&Cover o soluciones similares, y tratamiento de servicios interferidos. Esto implica un salto en complejidad respecto a la opción 100% superficial, justificando una clasificación de altos requerimientos constructivos.

**Tabla 6-2 Calificación de alternativas respecto a requerimientos constructivos**

Alternativa	Requerimientos constructivos
A0 Túnel por 18 de Julio	Muy alto 
A1 En superficie por 18 de Julio	Muy bajo 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	Alto 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	Muy bajo 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	Alto 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	Muy bajo 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	Alto 

*Fuente: elaboración propia.*

## 6.2. Urbanas y ambientales

Los aspectos urbanos y ambientales constituyen un eje central en la evaluación de proyectos de transporte, ya que determinan en gran medida no solo la viabilidad técnica y económica de las intervenciones, sino también su grado de sostenibilidad y aceptación por parte de la comunidad. La consideración de estos factores permite anticipar y mitigar posibles impactos negativos, al tiempo que potencia los beneficios asociados a una mejor integración del proyecto en su entorno. En este capítulo se examinan los impactos ambientales tanto durante la etapa de construcción como en la operación, junto con los efectos sobre la integración urbana y las interferencias que las distintas alternativas podrían generar en la infraestructura de servicios existente.

### 6.2.1. Impacto durante obras

#### 6.2.1.1. Metodología

La metodología empleada para la identificación y valoración de impactos ambientales de cada alternativa se estructuró en las siguientes etapas:

1. Determinación de fases del proyecto y actividades asociadas: en este caso, se evaluaron las fases de construcción y operación.
2. Identificación de impactos potenciales: se definieron los impactos ambientales esperados para cada actividad contemplada.
3. Evaluación cualitativa de los impactos: a cada impacto potencial se asignó un valor de importancia, clasificándolos en tres niveles: bajo (1), medio (2) y alto (3).
4. Valoración comparativa entre alternativas: se asignó un valor a cada impacto por alternativa en función del análisis preliminar de su importancia, considerando en particular la intensidad, extensión y temporalidad esperada, ordenándolas de -1 a -7 para impactos negativos. En caso de equivalencia entre dos alternativas, se les asignó el mismo valor. Los impactos positivos se ordenaron del 1 al 7.
5. Cuantificación del impacto potencial: se multiplicó la magnitud del impacto por el valor asignado a cada alternativa. El resultado permitió clasificar los impactos negativos en tres categorías: leve (-1 a -7), moderado (-8 a -15) y alto (-16 a -21).
6. Clasificación del impacto acumulado por alternativa: se calculó el impacto ambiental total por alternativa, sumando el valor de todos los impactos evaluados, según la siguiente escala (en valor absoluto): negativo muy leve (igual o menor a 70), negativo leve (entre 71 y 145), negativo moderado (entre 146 y 220), negativo alto (entre 221 y 295) y negativo muy alto (mayor a 295). Si la suma de impactos es mayor a cero se considera un impacto acumulado positivo.
7. Requerimiento de medidas de mitigación: los impactos clasificados como altos deben ser objeto de medidas específicas de mitigación que aseguren su compatibilidad con el entorno.

#### 6.2.1.2. Actividades del proyecto analizadas

El análisis se aplicó exclusivamente a las actividades que presentan diferencias relevantes entre las alternativas evaluadas. Actividades comunes a todas las alternativas, como la planta de hormigón, no fueron objeto de evaluación diferenciada, ya que no se cuenta con información suficiente que permita ampliar el análisis para comparar impactos entre ellas.

**Tabla 6-3 Actividades por fase del proyecto – fase constructiva**

Fase	Actividad
Construcción	Implantación, operación y retiro de obrador
	Movimiento y mantenimiento de maquinaria y camiones
	Movimiento de suelos, excavación y construcción

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.2.1.3. Identificación de impactos potenciales

**Tabla 6-4 Identificación de impactos potenciales por actividad**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Análisis cualitativo	Valor ambiental del impacto
Construcción	Implantación, operación y retiro de obrador	Contaminación de suelos y agua por mala gestión de residuos sólidos	<p>Una mala gestión de los residuos sólidos tiene el potencial de contaminar suelos y agua superficial.</p> <p>Los residuos generados deberán clasificarse y gestionarse según su peligrosidad y destino. Se debe priorizar el reúso, reciclaje y valorización de los residuos por sobre la disposición final. La gestión de las distintas tipologías es bien conocida, existen en todos los casos gestores autorizados.</p> <p>La aplicación de buenas prácticas de gestión minimiza el potencial impacto. En ningún caso deben almacenarse residuos en zonas sensibles a ser inundadas, su almacenamiento debe ser siempre acorde a su naturaleza evitando el contacto con el agua pluvial que pueda generar arrastres.</p>	2
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes sanitarios	<p>Una inadecuada gestión de los efluentes domésticos generados en baños y comedor tiene el potencial de contaminar suelos y cuerpos de agua.</p> <p>Se deberá considerar la gestión y/o almacenamiento transitorio generado en el obrador y frentes de obra.</p>	1
		Contaminación de suelos y agua por escurrimiento de pluviales contaminados	<p>Una inadecuada gestión tiene el potencial de contaminar las aguas superficiales. Se deben confeccionar cunetas perimetrales en la zona del obrador para desviar el agua pluvial externa durante eventos de lluvia. Dentro del obrador se deben diferenciar pluviales de aguas limpias o potencialmente contaminadas.</p>	2
		Contaminación de suelos y agua por agua de lavado de camiones y herramientas de manejo de hormigón	<p>Una inadecuada gestión tiene el potencial de contaminar suelos y aguas superficiales.</p> <p>Se debe construir un sector en el obrador central con suelo impermeable, captación y conducción del efluente hacia una pileta de sedimentación y posterior ajuste de pH donde se realizarán las tareas de lavado.</p>	2

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Análisis cualitativo	Valor ambiental del impacto
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido y vibraciones	Cambio del nivel de presión sonora (NPS) a nivel local, que puede afectar a la población local. Las vibraciones también pueden incidir sobre edificaciones cercanas. Tanto el ruido como las vibraciones constituyen un factor relevante en la percepción social del proyecto.	3
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	Modificaciones al tránsito y desvíos en el entorno del obrador, que podrán generar afectación a los vecinos, tránsito vehicular y tránsito peatonal, implicando un motivo de percepción social negativa.	3
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	Modificación de paisaje y visuales por la presencia del obrador y personas ajenas al sitio.  La instalación del obrador podría generar una percepción negativa por la afectación visual a los vecinos, así como el tránsito peatonal sobre el área.	2
Construcción	Movimiento y mantenimiento de maquinaria y camiones	Contaminación de suelos y aguas por mala gestión de restos de hidrocarburos, envases contaminados, etc.	Una inadecuada gestión tiene el potencial de contaminar las aguas superficiales y suelos.  Los residuos generados deberán clasificarse y gestionarse según su peligrosidad y destino. Se debe priorizar el reúso, reciclaje y valorización de los residuos por sobre la disposición final. La gestión de las distintas tipologías es bien conocida, existen en todos los casos gestores autorizados.  La aplicación de buenas prácticas de gestión minimiza el potencial impacto. En ningún caso deben almacenarse residuos en zonas sensibles a ser inundadas, su almacenamiento debe ser siempre acorde a su naturaleza evitando el contacto con el agua pluvial que pueda generar arrastres.	2
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes de lavado	Una inadecuada gestión de los efluentes de lavado tiene el potencial de contaminar suelos y cuerpos de agua.  Se deberá considerar la gestión y/o almacenamiento transitorio generado en el obrador y frentes de obra.	1

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Análisis cualitativo	Valor ambiental del impacto
		Cambio en la calidad de aire local por emisiones de la combustión de motores. Cambio en la calidad de aire por emisiones de rodadura de la maquinaria en suelos con presencia de finos.	Cambio en la calidad del aire local que puede afectar a la población circundante y constituye un motivo de percepción social negativa.	3
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido y vibraciones	Cambio del NPS y vibraciones en el entorno inmediato, que podría generar molestias en la población local y ser un motivo de percepción negativa.	3
		Afectación a vías de circulación por pasaje de la maquinaria	Afectación a la calidad de vías pavimentadas e infraestructura por el pasaje de tránsito pesado. Deberán establecerse vías de circulación y zonas de exclusión para minimizar la afectación a la infraestructura.	3
Construcción	Movimiento de suelos, excavación y construcción	Generación de residuos de demolición tiene el potencial de contaminar suelos y aguas superficiales	Una mala gestión tiene el potencial de contaminar suelos y aguas superficiales. El volumen gestionado debe ser clasificado y gestionado según su peligrosidad y destino. La gestión de las distintas tipologías es bien conocida, existen en todos los casos gestores autorizados.	1
		Pérdida de vegetación por remoción de especies	Las actividades requieren de remoción de especies vegetales de la faja pública, generando impacto social negativo por la pérdida de especies arbóreas. Se debe considerar la posibilidad de revegetación del espacio una vez finalizada la etapa constructiva.	1
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido, uso de explosivos	Incremento local del NPS que puede afectar a la población local y constituye además un motivo de percepción social negativa. En los escenarios con excavaciones el método constructivo puede variar la magnitud del impacto. Para la Alternativa 0 se consideran tres posibilidades: <i>cut</i>	3

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Análisis cualitativo	Valor ambiental del impacto
			& cover o excavaciones en mina. Esta última podría requerir empleo de explosivos. Para las A1-A3 se considera que se usará <i>cut &amp; cover</i> .	
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	Modificación de paisaje y visuales por la presencia y actividad de los frentes de obra que puede generar impacto social negativo.	3
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	Impacto sobre la población local por molestias por afectación a servicios durante la construcción y modificaciones al tránsito en las inmediaciones del área a intervenir.  Estos impactos serán temporales, pero deben ser mitigados mediante la aplicación de buenas prácticas de construcción.	3

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.2.1.4. Valoración de impactos

Con la información disponible a la fecha no es posible diferenciar en forma detallada la afectación de estos impactos en función de las alternativas del proyecto. Por lo tanto, se evalúa de forma general considerando principalmente si hay actividad de excavaciones o no, la magnitud de esta actividad y la extensión del área de influencia – es decir, si se afecta una o dos calles.

**Tabla 6-5 Evaluación de impactos por alternativa**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Evaluación de alternativas	Valor asignado						
				A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Construcción	Implantación, operación y retiro de obrador	Contaminación de suelos y agua por mala gestión de residuos sólidos	A priori se considera que las alternativas A0 y A1-A3 generarán un impacto mayor a las alternativas A1 y A3-S, principalmente por una duración e intensidad de obra mayor, asociado a las actividades de excavación. De estas, la alternativa A0 es la más significativa por la extensión de las actividades de excavación.  Por otro lado, se considera que las alternativas A2 y A3 generarán un impacto mayor a la alternativa A1 por tener una mayor extensión del área de influencia, dado que comprenden dos calles a intervenir a diferencia de la alternativa A1.	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes sanitarios		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Contaminación de suelos y agua por escurrimiento de pluviales contaminados		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Contaminación de suelos y agua por agua de lavado de camiones y herramientas de manejo de hormigón		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Evaluación de alternativas	Valor asignado						
				A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
	Movimiento y mantenimiento de maquinaria y camiones	Contaminación de suelos y aguas por mala gestión de restos de hidrocarburos, envases contaminados, etc.	<p>A priori se considera que las alternativas A0 y A1-A3-S generarán un impacto mayor a las alternativas A1-A3, principalmente por una duración e intensidad de obra mayor, asociado a las actividades de excavación.</p> <p>Para la alternativa A0 se espera una mayor cantidad de tránsito para esta alternativa, por requerir transporte de escombros generados en la excavación y mayor cantidad de hormigón. También, el volumen de maquinaria requerido será mayor en esta alternativa.</p> <p>A1-A3: tránsito de vehículos y maquinaria se espera que sea mayor en las alternativas con excavación (a) que en las (b).</p> <p>Las alternativas A2 y A3 abarcarán una mayor área de influencia que las alternativas A1.</p>	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes de lavado		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Cambio en la calidad de aire local por emisiones de la combustión de motores.		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Cambio en la calidad de aire por emisiones de rodadura de la maquinaria en suelos con presencia de finos.								
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido								

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Evaluación de alternativas	Valor asignado						
				A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
		Afectación a vías de circulación por pasaje de la maquinaria		-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
	Movimiento de suelos, excavación y construcción	Generación de residuos de demolición tiene el potencial de contaminar suelos y aguas superficiales	A priori se considera que las alternativas A0 y A1-A3 generarán un impacto mayor a las alternativas A1-A3-S, principalmente asociado a una mayor cantidad de generación de residuos.	-7	-1	-4	-1	-4	-1	-4
		Pérdida de vegetación por remoción de especies sobre la faja pública.	A0: Propone la construcción de corredores de vegetación a lo largo de 18 de julio. A1-A3: La construcción de árboles y franjas verdes varía entre alternativas y por tramos dentro de cada una. En líneas generales se considera canteros o plantación de especies arbóreas puntuales.	-1	-3	-2	-7	-6	-5	-4
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido, uso de explosivos	A0: podrá variar en función del método de trabajo. A1-A3: podrá ser mayor en las alternativas con cruces a desnivel (S).	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	Las alternativas A0 y A1-A3 generarán un impacto mayor a las alternativas A1-A3-S, principalmente asociado a una mayor cantidad de generación de residuos.	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	A0: podrá variar en función del método de trabajo. A1-A3: podrá ser mayor en las alternativas con cruces a desnivel (S)	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5

Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.1.5. Significancia de los impactos potenciales

**Tabla 6-6 Significancia de los impactos potenciales por alternativa – asignación numérica**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Significancia del impacto						
			A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Construcción	Implantación, operación y retiro de obrador	Contaminación de suelos y agua por mala gestión de residuos sólidos	-14	-2	-8	-4	-10	-4	-10
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes sanitarios	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5
		Contaminación de suelos y agua por escurrimiento de pluviales contaminados	-14	-2	-8	-4	-10	-4	-10
		Contaminación de suelos y agua por agua de lavado de camiones y herramientas de manejo de hormigón	-14	-2	-8	-4	-10	-4	-10
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido	-21	-3	-12	-6	-15	-6	-15
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	-21	-3	-12	-6	-15	-6	-15
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	-14	-2	-8	-4	-10	-4	-10
	Movimiento y mantenimiento de maquinaria y camiones	Contaminación de suelos y aguas por mala gestión de restos de hidrocarburos, envases contaminados, etc.	-14	-2	-8	-4	-10	-4	-10
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes de lavado	-7	-1	-4	-2	-5	-2	-5

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Significancia del impacto						
			A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
		Cambio en la calidad de aire local por emisiones de la combustión de motores.	-21	-3	-12	-6	-15	-6	-15
		Cambio en la calidad de aire por emisiones de rodadura de la maquinaria en suelos con presencia de finos.							
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido							
		Afectación a vías de circulación por pasaje de la maquinaria							
	Movimiento de suelos, excavación y construcción	Generación de residuos de demolición tiene el potencial de contaminar suelos y aguas superficiales	-7	-1	-4	-1	-4	-1	-4
		Pérdida de vegetación por remoción de especies	-1	-3	-2	-7	-6	-5	-4
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido, uso de explosivos	-21	-3	-12	-6	-15	-6	-15
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	-21	-3	-12	-6	-15	-6	-15
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	-21	-3	-12	-6	-15	-6	-15
Valoración total del impacto acumulado por alternativa			-260	-40	-150	-80	-190	-78	-188

*Fuente: elaboración propia.*

En base al resultado obtenido para cada alternativa y siguiendo la metodología presentada al inicio del capítulo, a continuación, se valoran las alternativas bajo análisis.

**Tabla 6-7 Significancia de impactos potenciales por alternativa – cualitativo**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Significancia del impacto						
			A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Construcción	Implantación, operación y retiro de obrador	Contaminación de suelos y agua por mala gestión de residuos sólidos	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes sanitarios	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve
		Contaminación de suelos y agua por escurrimiento de pluviales contaminados	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado
		Contaminación de suelos y agua por agua de lavado de camiones y herramientas de manejo de hormigón	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado
	Movimiento y mantenimiento de maquinaria y camiones	Contaminación de suelos y aguas por mala gestión de restos de hidrocarburos, envases contaminados, etc.	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Leve	Moderado
		Contaminación de suelos y agua por mala gestión de efluentes de lavado	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Significancia del impacto						
			A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
		Cambio en la calidad de aire local por emisiones de la combustión de motores. Cambio en la calidad de aire por emisiones de rodadura de la maquinaria en suelos con presencia de finos.	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Afectación a vías de circulación por pasaje de la maquinaria	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Movimiento de suelos: excavación y construcción	Generación de residuos de demolición tiene el potencial de contaminar suelos y aguas superficiales	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve
		Pérdida de vegetación por remoción de especies	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve
		Afectación a la población por aumento del nivel de ruido, uso de explosivos	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Afectación a la población por cambio del paisaje y visuales	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
		Afectación a la población por cambios en la circulación/afectación de servicios	Significativo	Leve	Moderado	Leve	Significativo	Leve	Significativo
Valoración total del impacto acumulado por alternativa			Negativo alto	Negativo muy leve	Negativo moderado	Negativo leve	Negativo moderado	Negativo leve	Negativo moderado

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.1.6. Medidas de mitigación

Para los impactos evaluados como significativos se requiere la implementación de medidas de gestión y mitigación que aseguren su compatibilidad con el entorno. A continuación, se presentan medidas genéricas recomendadas para minimizar los efectos de los impactos identificados.

La definición de medidas de mitigación específicas deberá ser acorde a las definiciones del proyecto que se tendrán en etapas más avanzadas y a las características del medio receptor, verificando para el sitio de implantación específico la sensibilidad particular del entorno.

**Tabla 6-8 Lineamientos de medidas de mitigación**

Impacto identificado	Actividades que lo generan	Medidas de mitigación recomendadas
Afectación a la población por aumento del nivel de ruido	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implantación, operación y retiro del obrador</li> <li>✓ Movimiento y mantenimiento de maquinarias y camiones</li> <li>✓ Movimiento de suelos: excavación y construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Establecimiento de horarios restringidos para actividades ruidosas.</li> <li>✓ Uso de equipos con silenciadores y mantenimiento periódico para minimizar las emisiones sonoras.</li> <li>✓ Instalación de barreras acústicas en zonas sensibles</li> <li>✓ Establecimiento de un programa de relacionamiento comunitario para la recepción de reclamos y difusión de información durante la obra.</li> </ul>
Afectación a la población y percepción social negativa por deterioro de la calidad de aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implantación, operación y retiro de obrador</li> <li>✓ Movimiento y mantenimiento de maquinarias y camiones</li> <li>✓ Movimiento de suelos: excavación y construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Riego periódico de superficies y caminos internos para controlar emisiones de polvo.</li> <li>✓ Cobertura de acopios de materiales sueltos y carga de camiones con lona.</li> <li>✓ Reducción de velocidad de circulación de los vehículos en obra.</li> <li>✓ Planificación y optimización de rutas de transporte.</li> <li>✓ Monitoreo periódico de calidad de aire y adopción de medidas en caso de requerirse.</li> </ul>
Afectación a la población por cambios en la circulación y/o afectación de servicios	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implantación, operación y retiro de obrador</li> <li>✓ Movimiento y mantenimiento de maquinarias y camiones</li> <li>✓ Movimiento de suelos: excavación y construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Señalización vertical y horizontal en los tramos empleados por el tránsito de obra.</li> <li>✓ Restricción de horarios de tránsito pesado para minimizar interferencia.</li> <li>✓ Delimitación y control de rutas habilitadas exclusivamente para tránsito de obra.</li> <li>✓ Establecimiento de un programa de comunicación con información anticipada a la comunidad sobre afectaciones temporales.</li> </ul>

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.2.1.7. Evaluación global de impactos ambientales en la fase constructiva

**Tabla 6-9 Evaluación de alternativas – fase constructiva**

Alternativa	Significancia
A0 Túnel por 18 de Julio	-260 
A1 En superficie por 18 de Julio	-40 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	-150 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	-80 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	-190 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	-78 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	-188 

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.2.2. Impacto ambiental en la operación

#### 6.2.2.1. Metodología

La metodología empleada para la identificación y valoración de impactos ambientales de cada alternativa se estructuró en las siguientes etapas:

1. Determinación de fases del proyecto y actividades asociadas: en este caso, se evaluaron las fases de construcción y operación.
2. Identificación de impactos potenciales: se definieron los impactos ambientales esperados para cada actividad contemplada.
3. Evaluación cualitativa de los impactos: a cada impacto potencial se asignó un valor de importancia, clasificándolos en tres niveles: bajo (1), medio (2) y alto (3).
4. Valoración comparativa entre alternativas: se asignó un valor a cada impacto por alternativa en función del análisis preliminar de su importancia, considerando en particular la intensidad, extensión y temporalidad esperada, ordenándolas de -1 a -7 para impactos negativos. En caso de equivalencia entre dos alternativas, se les asignó el mismo valor. Los impactos positivos se ordenaron del 1 al 7.
5. Cuantificación del impacto potencial: se multiplicó la magnitud del impacto por el valor asignado a cada alternativa. El resultado permitió clasificar los impactos negativos en tres categorías: leve (-1 a -7), moderado (-8 a -15) y alto (-16 a -21). Los impactos positivos no se diferenciaron según magnitud.
6. Clasificación del impacto acumulado por alternativa: se calculó el impacto ambiental total por alternativa, sumando el valor de todos los impactos evaluados. Los impactos negativos se clasificaron según la siguiente escala (en valor absoluto): negativo muy leve (igual o menor a 5), negativo leve (entre 5 y 10), negativo moderado (entre 11 y 20),

negativo alto (entre 21 y 30) y negativo muy alto (mayor a 30). Si la suma de impactos es mayor a cero se considera un impacto acumulado positivo.

7. Requerimiento de medidas de mitigación: los impactos clasificados como altos deben ser objeto de medidas específicas de mitigación que aseguren su compatibilidad con el entorno.

#### 6.2.2.2. Actividades del proyecto analizadas

El análisis se aplicó exclusivamente a las actividades que presentan diferencias relevantes entre las alternativas evaluadas. Actividades comunes a todas las alternativas, como la planta de hormigón, no fueron objeto de evaluación diferenciada, ya que no se cuenta con información suficiente que permita ampliar el análisis para comparar impactos entre ellas.

**Tabla 6-10 Actividades para la fase de operación**

Fase	Actividad
Operación	Existencia y uso de la infraestructura

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.2.2.3. Identificación de impactos potenciales

**Tabla 6-11 Identificación de impactos potenciales por actividad – operación**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Análisis cualitativo	Valor ambiental del impacto
Operación	Existencia y uso de la infraestructura	Percepción negativa de la población por cambio del paisaje y visuales respecto a la situación existente.	Modificación de paisaje y visuales respecto a la condición actual por la presencia física de la infraestructura construida que puede generar una percepción social negativa.	2
		Afectación a la población local por cambios en el nivel sonoro	Afectación a la población local por modificaciones en el NPS por la infraestructura y tránsito asociado.	3

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.2.2.4. Valoración de impactos

Con la información disponible a la fecha no es posible diferenciar en forma detallada la afectación de estos impactos en función de las alternativas del proyecto. Por lo tanto, se evalúa de forma general considerando principalmente si hay actividad de excavación o no, la magnitud de esta actividad y la extensión del área de influencia – es decir, si se afecta una o dos calles.

**Tabla 6-12 Evaluación de impactos por alternativa – operación**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Evaluación de alternativas	Valor asignado						
				A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Operación	Existencia y uso de la infraestructura	Percepción negativa de la población por cambio del paisaje y visuales respecto a la situación existente.	<p>A0: impacto positivo. Se aportará valor a la zona de 18 de julio.</p> <p>A1-A3: la incorporación de nuevos carriles, modificación de la circulación, construcción de cabinas de acceso y otra infraestructura asociada puede generar una percepción social negativa.</p>	7	-6	-5	-2	-1	-4	-3
		Afectación a la población local por cambios en el nivel sonoro	<p>A0: impacto positivo, reducción del nivel de tránsito y eliminación de tránsito colectivo sobre la avenida 18 de julio.</p> <p>A1-A3: impacto positivo respecto a la situación actual, tránsito colectivo eléctrico genera menor emisión sonora que motores a combustión. Con la información disponible no es posible diferenciar entre estas alternativas por lo que se valoran iguales.</p>	7	1	1	1	1	1	1

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.2.2.5. Significancia de los impactos potenciales

**Tabla 6-13 Significancia de los impactos potenciales por alternativa – asignación numérica – operación**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Significancia del impacto						
			A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Operación	Existencia y uso de la infraestructura	Percepción negativa de la población por cambio del paisaje y visuales respecto a la situación existente.	14	-12	-10	-4	-2	-8	-6
		Afectación a la población local por cambios en el nivel sonoro	21	3	3	3	3	3	3
	Valoración total del impacto acumulado por alternativa			35	-9	-7	-1	1	-5

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-14 Significancia de impactos potenciales por alternativa – cualitativo – operación**

Fase	Actividad	Impactos potenciales	Significancia del impacto						
			A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Operación	Existencia y uso de la infraestructura	Percepción negativa de la población por cambio del paisaje y visuales respecto a la situación existente.	Positivo	Moderado	Moderado	Leve	Leve	Moderado	Leve
		Afectación a la población local por cambios en el nivel sonoro	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Valoración total del impacto acumulado por alternativa			Muy Positivo	Negativo leve	Negativo leve	Negativo muy leve	Positivo muy leve	Negativo leve	Negativo muy leve

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.2.2.6. Evaluación global de impactos ambientales en la fase de operación

**Tabla 6-15 Evaluación de alternativas – fase de operación**

Alternativa	Significancia
A0 Túnel por 18 de Julio	35 
A1 En superficie por 18 de Julio	-9 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	-7 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	-1 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	1 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	-5 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	-3 

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.2.3. Integración urbana

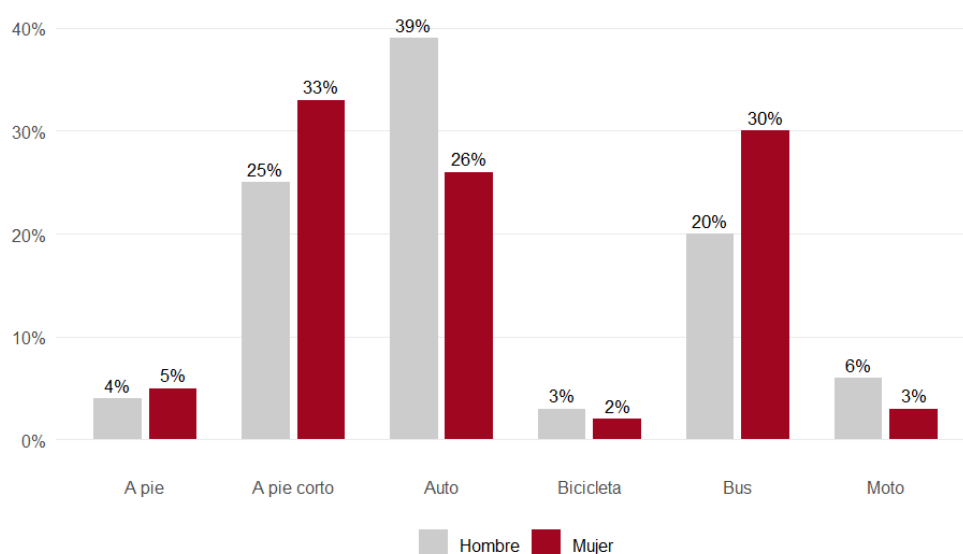
Las propuestas de alternativas del corredor metropolitano de 18 de Julio tienen como finalidad la mejora de la movilidad a gran escala en la zona céntrica de la ciudad de Montevideo. Es por esto que se realiza un análisis de cada una de las variantes en base a los impactos que se pueda tener frente a aspectos urbanísticos -como los usos del suelo, el espacio público, la conectividad y la seguridad-. Se identifican y ponen en valor los diferentes factores que pueden impactar en el entorno urbano.

El informe de la “Encuesta de Movilidad del Área Metropolitana de Montevideo: Principales resultados e indicadores” (2017) es analizado por el Centro de Investigaciones Económicas (CINVE) en la publicación “La transformación del sistema de transporte público en el área metropolitana de Montevideo” (2023). En ambos informes se refleja que la gran mayoría de las personas entrevistadas prefieren un mejor y más eficiente sistema de transporte colectivo. Los datos de la encuesta realizada reflejan que el 64% de las personas entrevistadas prefieren tener un sistema más eficiente, rápido y de mejor calidad que a tener un sistema de transporte más económico. Dentro de los factores eficiencia, rapidez y calidad se refleja en los datos obtenidos que el interés de los usuarios en mejorar las frecuencias de los ómnibus. El nuevo sistema de transporte propuesto mejora esta carencia detectada por los usuarios y propone tener mejor frecuencia y eficiencia.

La planificación del sistema de transporte metropolitano debe contemplar la variable de la perspectiva de género de modo que el sistema sea equitativo, accesible y seguro para todos y para todas. Acorde a los datos analizados por el por el Centro de Investigaciones Económicas (CINVE) la mayoría de las personas que utilizan el sistema de transporte colectivo son mujeres,

por lo que el diseño del sistema, las redes y la infraestructura deberá responder a la realidad de su uso y la población afectada. *“Los efectos negativos del declive del sistema de transporte público impactan más directamente sobre las mujeres. En la medida en que las mujeres son las que más utilizan de forma más intensiva el transporte público, las carencias del sistema las afectan con mayor intensidad. Según la encuesta de movilidad del Área Metropolitana del 2016, las mujeres realizan más viajes a pie y en transporte público, mientras los varones tienen mayor proporción de viajes en auto, moto y bicicleta.”* El análisis realizado surge de la publicación del CINVE “La transformación del sistema de transporte público en el área metropolitana de Montevideo” (2023).

**Figura 6-5 Proporción de viajes en modos de transporte seleccionados por sexo**



*Fuente: La transformación del sistema de transporte público en el área metropolitana de Montevideo (2023), CINVE.*

Los datos arrojados por el informe muestran una variación en la población que utiliza el bus como modos de transporte, por lo que el nuevo sistema debe de contemplar las variables de seguridad, inclusión y participación. Se debe mejorar la seguridad del transporte brindándole apoyo a mujeres para prevenir el acoso sexual en el transporte, también se deberá garantizar que las paradas y los vehículos tengan accesibilidad universal, ya sea para personas con discapacidad, embarazadas, adultos mayores, niños y niñas.

La transformación del transporte en la ciudad tendrá un impacto muy positivo para los traslados de las personas en la ciudad, y a la vez un impacto urbanístico muy grande. El sistema planteado tiene la condición de ser rápido por lo tanto permite atender con facilidad y eficiencia los traslados en las ciudades.

Algunos de los impactos que puede tener la integración y planificación del transporte público en las ciudades son:

- Mejora la calidad de vida y el desarrollo socio-económico.

- Mejora la accesibilidad y el entorno urbano: la integración del transporte colectivo a la planificación urbana acompaña en el diseño de las ciudades creando una integralidad de las partes.
- Desarrollo de mayor densidad poblacional: la incorporación de la planificación del transporte se alinea con la planificación de la ciudad y la normativa del uso del suelo, creando usos más eficientes del suelo y por lo tanto de la energía.
- Mejor salud urbana: reducción de la contaminación ambiental y vida más activa.
- Economía urbana: costos de transporte más baratos en desarrollos compactos.

En la normativa vigente de Montevideo rigen las Directrices Departamentales (2012) y el Plan de Ordenamiento Territorial (1998). Las Directrices Departamentales establecen como una de las grandes intervenciones en el centro de la ciudad la recalificación de la Avenida 18 de Julio. Tal como se define en la propuesta *“se extenderán y profundizarán las acciones en torno al eje de la avenida 18 de julio, buscando la mejora de la calidad del espacio público y la revalorización de las construcciones; se promoverán las diversificaciones de las actividades (comerciales, institucionales, terciarias, recreativas, culturales y residenciales), con el fin de asegurar un uso continuo del espacio urbano en el tiempo diario y semanal, y se generarán espacios de encuentro para mejorar las condiciones de accesibilidad y tránsito vehicular, priorizando la circulación peatonal agradable y segura y promoviendo actividades esporádicas de carácter masivo.”*

En todas las alternativas analizadas en el presente proyecto se mantienen las paradas asociadas a los conectores de las calles Convención, Paraguay, Ejido, Magallanes, Fernández Crespo y Paullier. Las distancias aproximadas entre paradas se encuentran entre 400 y 600 metros aproximadamente, lo que se contempla dentro de los rangos de distancias caminables según los estándares mundiales; un peatón puede caminar entre 500 y 1000 metros de distancia dependiendo de distintas variables como edad, condición física, etc.

Las veredas 18 de Julio actualmente oscilan entre 2 y 6 metros de ancho. Hoy en día, las veredas –norte y sur- de la avenida se utilizan para desplazamiento peatonal, paradas de ómnibus, cartelera temporal de los comercios y comercios itinerantes como puestos, quioscos, ferias, etc.

**Figura 6-6 Foto acera sur 18 de Julio con paradas y peatones**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 6-7 Foto acera norte 18 de Julio con quioscos y peatones**



*Fuente: elaboración propia.*

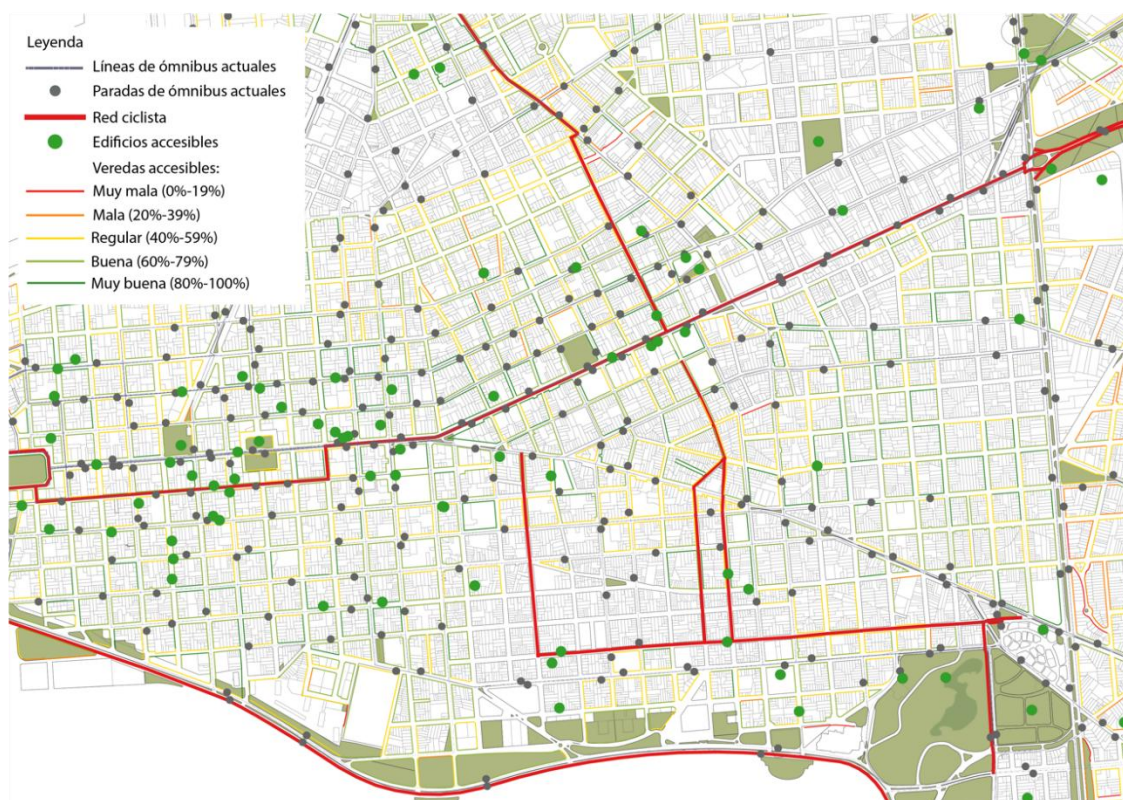
Para la cantidad de usos que tiene este espacio público actualmente se necesitan más metros, dado que la circulación peatonal se ve constantemente interrumpida, principalmente en horas pico donde se acumula mucha gente esperando en las paradas de ómnibus. Por lo tanto, en este análisis nos debemos preguntar si el proyecto de recalificación de 18 de Julio es un gran eje de transporte o un gran eje de espacio público.

Según el análisis de las variantes los espacios de vereda se ven aumentados con las modificaciones, por lo tanto, hay una mejora a nivel general de los espacios públicos. Además,

con la incorporación de un sistema de transporte eléctrico la contaminación acústica se reducirá de tal manera que mejorará la convivencia en la calle y en los espacios públicos de las calles afectadas. La intervención del eje de 18 de Julio o sus alternativas es el primer paso de una regeneración urbana que permitirá, a partir de la intervención en algunos ejes y el espacio público, avanzar hacia la remodelación del área central de Montevideo.

Otro aspecto a contemplar y mantener en las variables de diseño es la accesibilidad universal. Hoy en día 18 de Julio esta categorizada como circuito de accesibilidad en la ciudad de Montevideo. La gran mayoría de las veredas de la avenida tienen buena o muy buena accesibilidad –entre 60% y 100%-. Las variantes analizadas en el presente informe no pretenden modificar ni alterar esas condiciones de la calle, en todo caso, se buscará mejorar algunas cuestiones como la accesibilidad en paradas y el acceso al transporte que subsanen las carencias que hoy en día se evidencian.

**Figura 6-8 Mapa de movilidad activa actual**



*Fuente: Elaboración propia en base a datos del SIG de Montevideo.*

Una mejora en la calidad del transporte puede generar un impacto indirecto positivo sobre atractividad de la vivienda en la zona, es decir, al tener mejor acceso al transporte las personas eligen más vivir allí. A su vez, las mejoras en el transporte público que vienen acompañadas de un uso más eficiente del suelo generan más alternativas de vivienda en los barrios mejor conectados, teniendo un impacto positivo en el desarrollo habitacional.

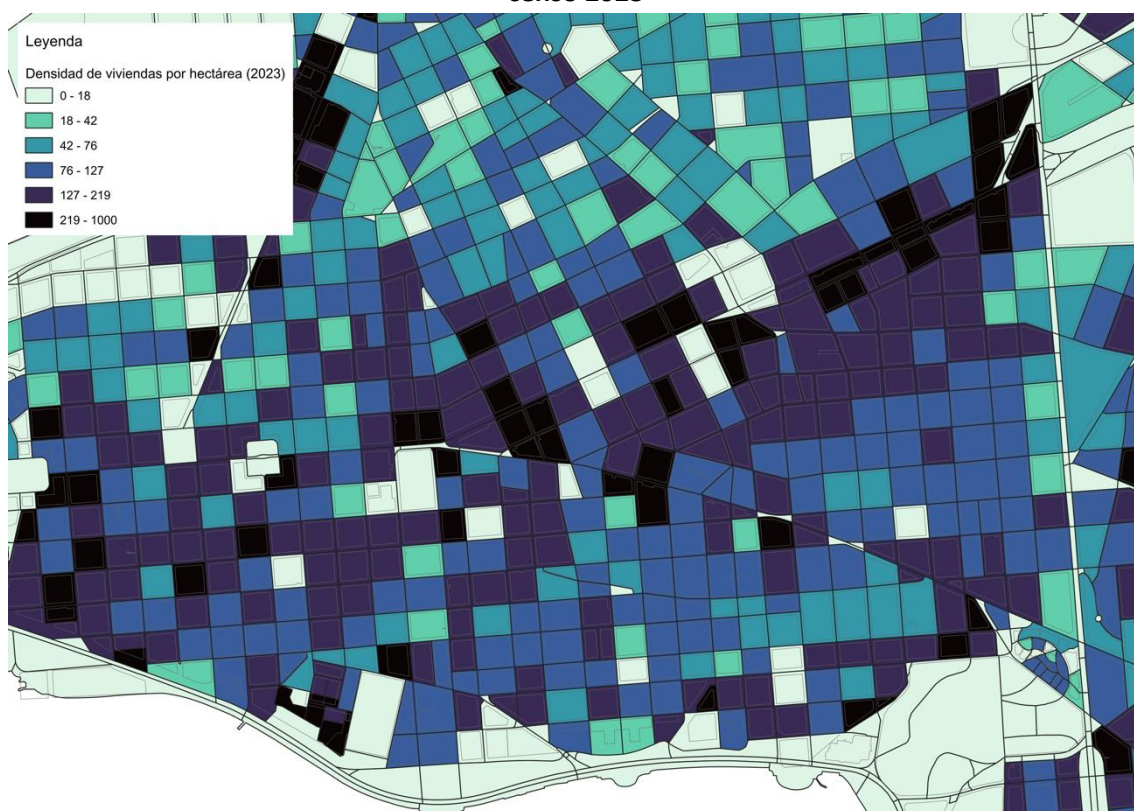
Para poder dimensionar los impactos que se espera tenga el sistema de transporte propuesto en la vivienda se debe analizar las dinámicas poblacionales y las transformaciones de la vivienda en los últimos años. La aprobación de la Ley N° 18.795 de Vivienda Promovida ha generado un

gran impacto en la vivienda y los movimientos poblacionales, así también como la composición media de los hogares. Esta ley generó mucha inversión privada en la última década para edificios con tipologías monoambientes, 1 y 2 dormitorios.

Según los datos del censo 2023, en la zona del entorno inmediato de los ejes propuestos se concentra una densidad de viviendas que oscila entre 76 y más de 200 viviendas por hectárea, siendo una de las zonas más densas de Montevideo. En las manzanas frentistas a 18 de Julio se encuentran categorías de densidad de más de 200 viviendas por hectárea, viéndose disminuida en las manzanas de las calles paralelas.

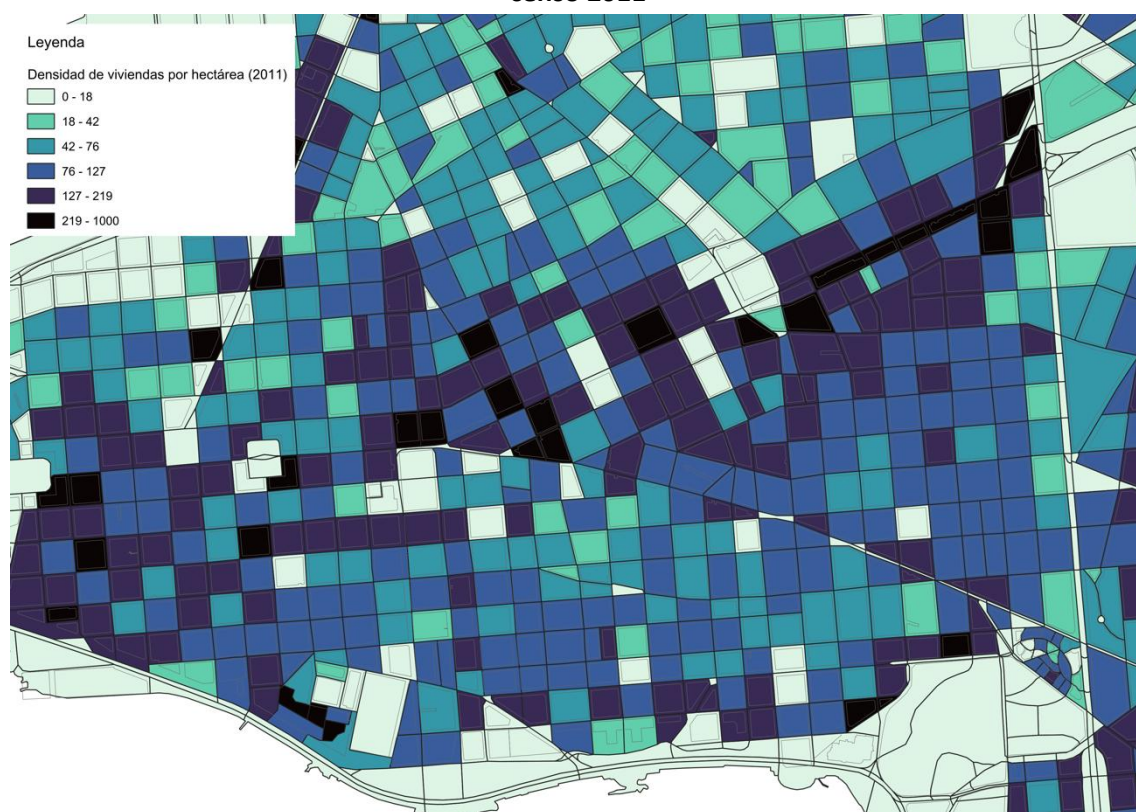
En las siguientes figuras, se evidencia una gran diferencia entre la densidad de viviendas del censo del año 2023 con el del 2011, observándose un gran crecimiento sobre todo cercano a los ejes de transporte del centro de Montevideo. Como por ejemplo los bordes de 18 de Julio, que son los más acentuados, las calles Maldonado, Canelones y San José por donde hay una alta circulación de líneas de transporte colectivo. Se ve un comportamiento de crecimiento a nivel longitudinal en las calles que van desde Plaza Independencia hacia Bulevar Artigas.

**Figura 6-9 Mapa de densidad de viviendas por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2023**



*Fuente: Elaboración propia base a datos del SIG de Montevideo.*

**Figura 6-10 Mapa de densidad de viviendas por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2011**



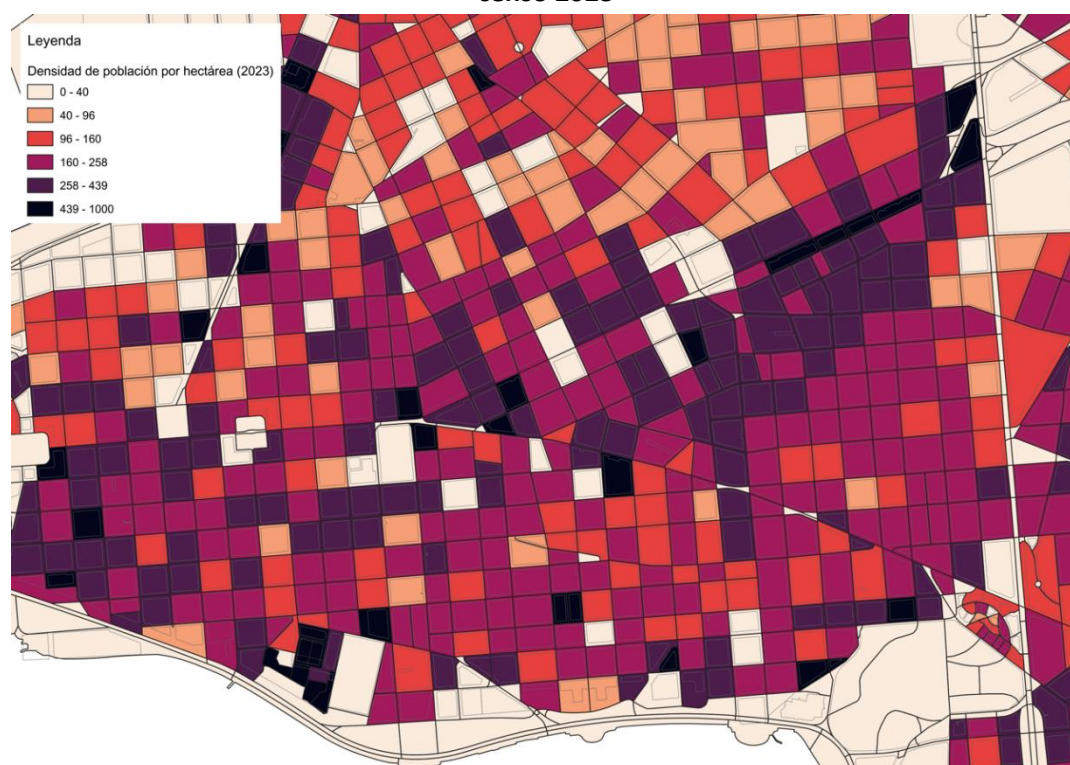
**Fuente: Elaboración propia base a datos del SIG de Montevideo.**

En cuanto a los datos obtenidos de densidad de población del censo 2023, no necesariamente coinciden con el crecimiento de la densidad de viviendas. Esta divergencia se relaciona, por un lado, con los efectos de la Ley N.º 18.795 de Vivienda Promovida, que ha incentivado transformaciones en las tipologías habitacionales, reduciendo las superficies promedio por unidad y favoreciendo un mayor número de viviendas. En paralelo, desde una perspectiva social, se ha verificado una modificación en la composición de los hogares, con un aumento relativo de aquellos integrados por menor cantidad de personas, lo que ha impulsado también la demanda de viviendas de menor tamaño.

La Figura 5-7 muestra la densidad poblacional según los datos del censo 2023, la mayor cantidad de población se concentra en los bordes del eje de 18 de Julio al igual que la vivienda.

La Figura 5-8 refleja los datos de densidad de población del censo 2011, observándose que en algunos puntos decreció desde el censo del 2011 al 2023. Este fenómeno se relaciona en parte con la problemática de vivienda vacía que afecta actualmente al centro de Montevideo, asociada a la migración de población hacia la franja costera ocurrida durante las últimas décadas; y al efecto del cambio de composición de los hogares que se explicaba anteriormente. A su vez, se ven movimientos poblacionales que se fueron concentrando más cercanos a los ejes longitudinales importantes como 18 de Julio.

**Figura 6-11 Mapa de densidad de población por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2023**



*Fuente: Elaboración propia base a datos del SIG de Montevideo.*

**Figura 6-12 Mapa de densidad de población por hectárea en el centro de Montevideo del censo 2011**



*Fuente: Elaboración propia base a datos del SIG de Montevideo.*

Por lo tanto, las calles paralelas a 18 de Julio han sufrido grandes cambios en cuanto a inversión de vivienda con la Ley de Vivienda Promovida, concentrándose la mayor cantidad de población y viviendas en torno a estos ejes. Hubo un gran crecimiento en la cantidad de viviendas, pero este aumento no estuvo acompañado por un crecimiento proporcional de la población. La Ley N° 18.795 ha modificado los modos de habitar, especialmente en la zona céntrica de Montevideo, generando viviendas más pequeñas y hogares con menor cantidad de integrantes. Esto refleja una transformación en la composición de los barrios estudiados más que un incremento poblacional.

En este contexto, los crecimientos de vivienda deben ir acompañados de políticas de transporte que beneficien a los nuevos habitantes del centro. Aunque los hogares son más pequeños y, según la Encuesta de Movilidad 2016, ha crecido el parque automovilístico, resulta necesario implementar modalidades que no incentiven la movilidad en vehículos privados y desincentiven la movilidad de cantidades reducidas de población. La propuesta de cambio en el sistema de transporte podría beneficiar a las calles paralelas a 18 de Julio, contribuyendo a nivelar la densidad hacia arriba. Por lo tanto, se espera que la mejora del sistema de transporte tenga un efecto positivo en la redensificación urbana, especialmente en el área de influencia del eje de ómnibus biarticulados eléctricos, ayudando a revertir la dinámica observada.

Como se define en la estrategia de planificación urbana denominada desarrollos orientados al transporte, el crecimiento de las ciudades debe ir acompañado al desarrollo del transporte y viceversa. El corredor metropolitano puede tener un impacto a gran escala en el crecimiento de la mancha urbana, mayoritariamente hacia el este de la ciudad y área metropolitana de Montevideo, ya que disminuir tiempos de viaje puede romper la barrera de la distancia y volver más atractivo el buscar un lugar de residencia más alejado de la ciudad. Para compensar este fenómeno, es necesario pensar incentivos y políticas para la vivienda en el área central de Montevideo que busquen reforzar y acentuar el uso residencial en el área de influencia del sistema de transporte.

#### **6.2.3.1. A0 Soterramiento en 18 de Julio**

La propuesta A0 donde el sistema de transporte colectivo articulado circula soterrado supone para la calle en superficie una mejora en la integración del espacio de calle. Al eliminarse los ómnibus en superficie y disminuir la velocidad de circulación permitida, se pacifica el tránsito permitiendo mejor fluidez para otros modos de movilidad, en mayor parte para los de movilidad activa.

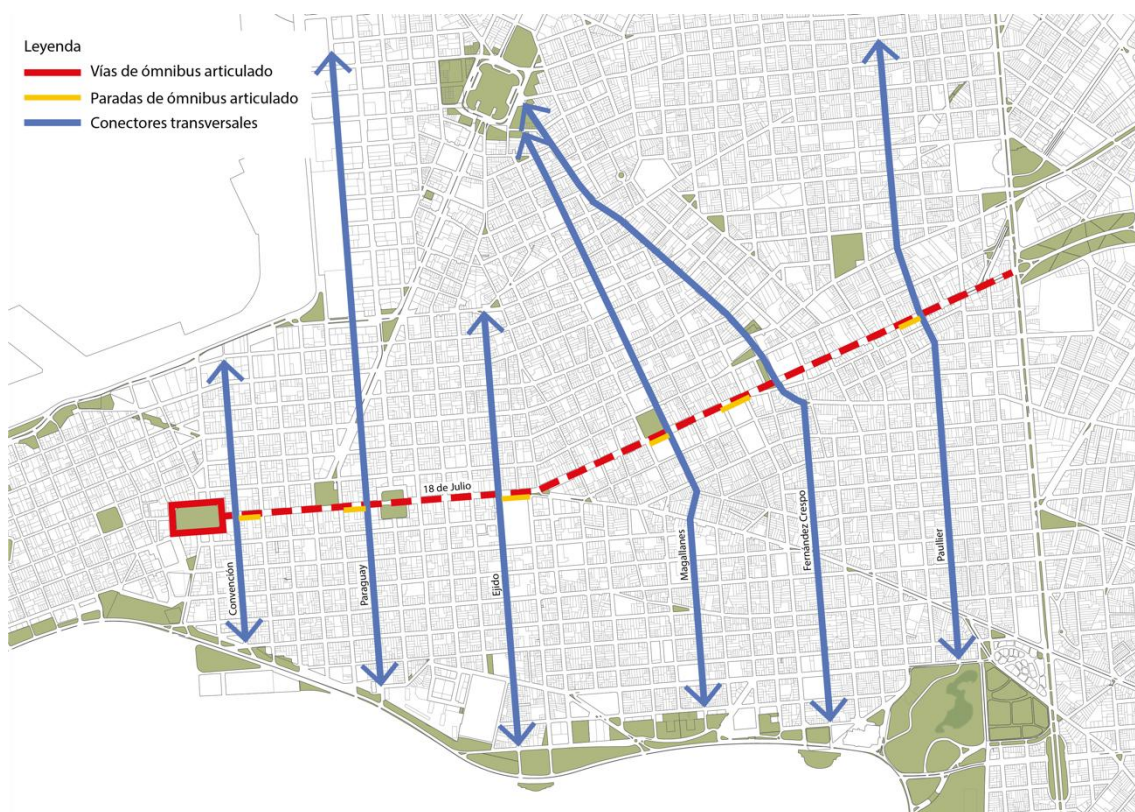
##### **■ Conectividad**

Para la conectividad del transporte de ómnibus biarticulados eléctricos se mejorará la conexión entre Ciudad Vieja y los corredores metropolitanos. También se proyectan mejoras en la conectividad del resto del transporte colectivo y de redes de conectores de la ciudad con la calle liberada.

También, esta variante permite tener continuidad de la ciclovía en toda la extensión de la avenida, por lo tanto, se verá beneficiada la movilidad en bicicleta. Hoy en día la red ciclista no es continua a lo largo de 18 de Julio, existe un tramo que circula por la calle San José y se une a

18 de Julio en la calle Carlos Quijano, en esta alternativa se eliminan obstáculos en la movilidad ciclista, quedando la red a lo largo de 18 de Julio.

**Figura 6-13 Esquema de conectividad de la variante A0**



*Fuente: Elaboración propia.*

#### ■ Cruces

Se proyectan mejoras en la conectividad a lo largo del eje de 18 de julio dado que va a desaparecer el tránsito de ómnibus en superficie, permitiendo mejor fluidez en otros modos. En este sentido trasladarse en bicicleta, a pie o en vehículo privado se verá beneficiado quien recorra la avenida.

Los cruces y las conexiones transversales a 18 de Julio serán favorecidas, dado que el sistema de transporte colectivo circula en otra cota, por lo cual no se cruza con la otra red de transporte ni le quita prioridad. A su vez, con el resto de los modos de movilidad no colectivos tales como los vehículos privados y la circulación peatonal. Los cruces principales como los graficados en la Figura 5-9 y el resto de las calles que cruzan 18 de Julio serán beneficiados.

#### ■ Espacio público

En esta variable del proyecto el espacio público de calle se ve favorable para el uso de paseo y recreativo, aunque la aparición de las paradas puede conflictuar el flujo peatonal en sentido transversal de 18 de Julio. Se ganan aproximadamente 15.000m<sup>2</sup> de vereda en relación con los existentes en la actualidad y se espera un mejor aprovechamiento tras la eliminación de las paradas que hoy se encuentran en las veredas. En este sentido, se destinará más espacio al uso público y menos espacio en paradas y en personas esperando que pase el ómnibus, que en horas

pico suelen haber acumulaciones. Mucha superficie del espacio ganado se podrá destinar a corredores verdes ya sea en superficie para jardines de agua o en arbolado.

Las estaciones a nivel ocupan 3,6 metros de ancho, por lo que en la ocupación total del espacio de calle de 23,60 metros no sería una gran invasión del espacio público. A su vez se le destinaria mayor área para la circulación peatonal y los usos recreativos. Este sistema hace más eficiente el uso de la calle como espacio público.

Con la reducción de la contaminación sonora del tráfico rodado de ómnibus común el espacio público de calle y las plazas que se encuentran sobre 18 de Julio se verán beneficiadas, mejorando la convivencia.

#### ■ Usos

##### - Residencial

Las personas optan por zonas de la ciudad que estén mejor conectadas por un servicio de transporte eficiente, ya hubo un crecimiento de la densidad de viviendas en la zona por lo que el nuevo sistema puede impactar teniendo un crecimiento poblacional para estas viviendas.

Para reforzar y acentuar el uso residencial se deberán pensar en políticas de incentivo para la vivienda en el centro de Montevideo que acompañe el desarrollo del sistema de transporte nuevo.

##### - Comercial

Los usos comerciales en este caso podrían beneficiarse dado que existiría una mejor accesibilidad mediante transporte colectivo. La distancia entre paradas generará, en muchos casos, un recorrido más largo a lo largo de la avenida para acceder al transporte, lo que incentiva más la compra. A ello se suma que, considerando los espacios verdes proyectados, el área no solo se vuelve más atractiva como destino para realizar compras, sino también para permanecer en ella, generando un impacto positivo en la demanda de servicios.

Por otro lado, los comercios que hoy en día tienen paradas en su puerta, perderían algunos clientes dado que no se generarían más esperas en frente. Las veredas se utilizarían más que nada para traslados.

##### - Cultural

18 de Julio se concibe como gran eje cívico donde confieren diversas instituciones. El impacto de la mejora del transporte colectivo impacta de manera positiva en los usos culturales dado que existirá una mejor accesibilidad al entorno.

- Itinerante

Los usos itinerantes como las ferias, puestos y quioscos se verán beneficiados al igual que los comercios dado que se libera mayor espacio para la circulación peatonal. Incentivando la calle como paseo comercial.

- Estacionamiento

Los estacionamientos y entradas de garaje de 18 de Julio no se verán afectados por esta variable dado que no se modificarían las entradas y salidas. La circulación vehicular seguirá normalmente incluso con menos obstáculos por la eliminación de paradas, por lo tanto, los accesos a estacionamientos no tendrán alteraciones.

- Seguridad personal

El sistema de transporte de ómnibus biarticulados eléctricos deberá ser planificado con políticas con perspectiva de género, esto incluye la seguridad en las paradas. Las paradas soterradas deberán contar con iluminación, sistema de vigilancia, señalización y disponibilidad de servicios dado que es una zona en subsuelo con poco control.

#### **6.2.3.2. A1 BRT a nivel por 18 de Julio**

La propuesta A1 donde el sistema de transporte colectivo articulado circula en superficie supone para la calle una redistribución de usos actuales para poder sostener el nuevo sistema que circula segregado de los vehículos rodados. El ancho de la calle es aproximadamente de 23,60 metros, el sistema de articulados ocupa 7 metros de ancho contando ambos carriles y 11 metros en los tramos donde están las paradas, por lo que se ocupa aproximadamente un 46% para uso exclusivo del transporte colectivo. Este escenario puede ser positivo en el marco del transporte colectivo, pero se deja un espacio limitado dedicado a modos sostenibles.

- Conectividad

Se proyectan mejoras en la conectividad a lo largo del eje de 18 de Julio dado que se hace más eficiente el sistema completo en el eje este-oeste.

Para la conectividad del transporte de ómnibus biarticulados eléctricos se mejorará la conexión entre Ciudad Vieja y los corredores metropolitanos. También se proyectan mejoras en la conectividad del resto del transporte colectivo y de redes de conectores de la ciudad con la calle liberada.

**Figura 6-14 Esquema de conectividad de la variante A1**



*Fuente: Elaboración propia.*

#### ■ Cruces

En la alternativa A1 con pasos a nivel el corredor de 18 de Julio tiene prioridad sobre los cruces. Para el caso de pasos a desnivel no habrá impacto negativo en los cruces señalados en la Figura 5-10. Las calles Convención, Paraguay, Ejido, Magallanes, Fernández Crespo y Paullier no tendrán obstáculos a la hora de cruzar 18 de Julio; los cruces tendrán tanta prioridad como el eje central de transporte.

#### ■ Espacio público

En esta variable del proyecto la calle como espacio público se ve desfavorecida para el uso de paseo y recreativo, dado que la aparición de un sistema de ómnibus en el corredor central y las paradas se podrá concebir como un límite físico entre la acera norte y sur de la calle. Es decir, la infraestructura, el flujo y frecuencia del nuevo sistema puede suponer una barrera entre un lado y otro de 18 de Julio, lo que podría generar segregación entre ambos lados. Se acentuará la circulación de los peatones por una acera sola, disminuyendo el lugar para que 18 de Julio sea un paseo que se recorra en ambas aceras. La presencia de un sistema tan rígido como este puede conflictuar los cruces de aceras norte y sur para el paseo en las cuadras con paradas. Por lo tanto, en caso de avanzar con esta alternativa, será fundamental que el diseño urbano priorice la movilidad activa y la seguridad vial, incorporando opciones como calles de convivencia, plataformas compartidas y cruces seguros, complementadas con sistemas de fiscalización de velocidad, de manera que el corredor se consolide como una vía sostenible y segura para la ciudad.

En el tramo 1 no hay una gran variación del espacio de vereda, se gana en algunos puntos de la avenida. En los tramos 2 y 3 esta variante deja muy poco espacio de vereda en los cruces importantes, hoy la vereda de 18 de Julio mide 4 metros, se eliminarían usos itinerantes y se generarían aglomeraciones de personas. Las variables no deben quitar prioridad de los modos activos como el peatonal para fomentar el acceso al nuevo sistema.

Con la creación del sistema de biarticulados se eliminan las paradas existentes de las veredas, liberando más espacio al uso público y ocupando menos espacio en paradas y en personas esperando que pase el ómnibus, que en horas pico pueden producirse aglomeraciones.

En el caso de la variante con pasos a desnivel, el uso de la rampa desfavorecerá el espacio aprovechable en superficie de 18 de Julio, dado que se necesitan 100 metros para bajar y subir por cada uno de los cruces. Si será favorecido el espacio público de las calles que cruzan dado que lo harán en superficie.

#### ■ Usos

##### - Residencial

El hecho de que se mejore la calidad del transporte puede favorecer a la vivienda, tal como se define en los desarrollos orientados al transporte. Las personas tienden a optar por vivir en zonas de la ciudad que estén mejor conectadas por un servicio de transporte eficiente.

En Montevideo hubo un gran crecimiento del parque automovilístico en las últimas décadas, principalmente por la baja del precio real de los vehículos como autos y motos y por la preferencia de los usuarios a tener un transporte privado. La creación de un nuevo sistema de transporte eficiente podría impactar de manera positiva en el decrecimiento del parque automovilístico, incentivando que los usuarios opten por un sistema colectivo.

Para reforzar y acentuar el uso residencial se deberán pensar en políticas de incentivo para la vivienda en el centro de Montevideo que acompañe el desarrollo del sistema de transporte nuevo.

##### - Comercial

Los usos comerciales en este caso podrían beneficiarse dado que existiría una mejor accesibilidad mediante transporte colectivo. La distancia entre paradas generará, en muchos casos, un recorrido más largo a lo largo de la avenida para acceder al transporte, lo que incentiva más la compra.

Por otro lado, los comercios que hoy en día tienen paradas en su puerta perderían algunos clientes dado que no se generarían más esperas en frente. Las veredas se utilizarían más que nada para traslados.

##### - Cultural

La avenida 18 de Julio se concibe como un gran eje cívico que concentra instituciones y actividades relevantes. La mejora del transporte colectivo tendría un efecto positivo en los usos culturales, al incrementar la accesibilidad al entorno. Sin embargo, desde una perspectiva funcional, es importante considerar que 18 de Julio también opera como eje central para

manifestaciones y concentraciones masivas. En este marco, la implementación del nuevo sistema restringiría el espacio disponible para dichas actividades y haría más compleja la gestión de desvíos del transporte, en comparación con la situación actual.

- Itinerante

Los usos itinerantes como las ferias, puestos y quioscos se verán beneficiados al igual que los comercios dado que, por el cambio de ubicación de las paradas, se libera espacio para la circulación peatonal. Incentivando la calle como paseo comercial.

- Estacionamiento

Las entradas de garaje de 18 de julio no se verán afectados por esta variable dado que no se modificarían las entradas y salidas.

- Seguridad personal

No existirá un impacto negativo en la seguridad personal de las personas, en todo caso el impacto es positivo al encontrarse los pasajeros resguardados en paradas cerradas. Sin embargo, es importante considerar que el sistema de transporte de ómnibus biarticulados deberá ser planificado con políticas con perspectiva de género, esto incluye la seguridad en las paradas. Se deberá contar con mejor iluminación y vigilancia. En la alternativa de pasos inferiores, las paradas inferiores deberán contar con iluminación, sistema de vigilancia, señalización y disponibilidad de servicios dado que es una zona en subsuelo con poco control.

#### **6.2.3.3. A2 Colonia + Mercedes**

La variante de transporte A2, donde el sistema de transporte colectivo articulado circula por las calles Colonia –en dirección oeste- y Mercedes –en dirección este- permite descongestionar el sistema de transporte de la calle 18 de Julio y concentrarlo en estas dos vías paralelas donde hoy ya existe la circulación de transporte colectivo. La problemática que puede tener esta variante es que la calle 18 de Julio quedaría en las mismas condiciones que hoy en día. Si bien esto puede permitir potenciar modos de movilidad más sostenibles por 18 de Julio, uno de los mayores impactos sería que el tráfico de vehículos privados se intensifique, concentrando más cantidad de vehículos rodados -ya sean autos y ómnibus de líneas comunes- y, por lo tanto, generando una calle menos pacificada.

- Cruces

En la alternativa A2 con pasos a nivel los corredores por Colonia y Mercedes tienen prioridad sobre los cruces. En el caso de la variante con pasos a desnivel, el uso de la rampa desfavorecerá el espacio aprovechable en superficie de las calles Colonia y Mercedes, dado que se necesitan 100 metros para bajar y subir por cada uno de los cruces. Si será favorecido el espacio público de las calles que cruzan dado que lo harán en superficie.

## ■ Conectividad

Se proyectan mejoras en la conectividad a lo largo de los ejes de Colonia y Mercedes dado que se hace más eficiente el sistema completo en el eje este-oeste. Esta alternativa libera a 18 de Julio de la carga más pesada de transporte de pasajeros, permitiendo que se mantenga como eje cívico y gran espacio público de la ciudad. 18 de Julio se mantiene con el diseño actual con vías de transporte colectivo común, de todas maneras, se deberá repensar el sistema de transporte colectivo del centro para que el sistema de ómnibus biarticulados descomprima el tráfico actual en las tres calles.

Para el transporte de ómnibus articulados se mejorará la conexión entre Ciudad Vieja y los corredores metropolitanos, a su vez con el resto de la ciudad de Montevideo dado que se propone un sistema integrado de combinaciones modales.

**Figura 6-15 Esquema de conectividad de la variante A2**



*Fuente: Elaboración propia.*

## ■ Espacio público

Con las modificaciones y redistribución del espacio público se ganan aproximadamente 3.500m<sup>2</sup> de vereda para la calle Colonia y aproximadamente 4.850m<sup>2</sup> de Mercedes. Se debe tener en cuenta que, dado que al situar el sistema nuevo de transporte en las calles Colonia y Mercedes, estas tendrán mayor flujo de personas. Por tanto, al crear nuevo foco de transporte habrá mayor

flujo de personas, por lo que no deberá quedar desatendido el espacio de vereda para tránsito peatonal y para esperas de las paradas.

A la hora de rediseñar los espacios de calle se deberá contemplar -sin perder espacio para circulación peatonal- una zona para arbolado y áreas verdes. Dado que hoy en día ambas calles no lo contemplan en toda su extensión.

- Usos

- Residencial

El hecho de que se mejore la calidad del transporte puede favorecer a la vivienda, tal como se define en los desarrollos orientados al transporte. Las personas tienden a optar por vivir en zonas de la ciudad que estén mejor conectadas por un servicio de transporte eficiente.

En Montevideo hubo un gran crecimiento del parque automovilístico en las últimas décadas, principalmente por la baja del precio real de los vehículos como autos y motos y por la preferencia de los usuarios a tener un transporte privado. La creación de un nuevo sistema de transporte eficiente podría impactar de manera positiva en el decrecimiento del parque automovilístico, incentivando que los usuarios opten por un sistema colectivo.

Para reforzar y acentuar el uso residencial se deberán pensar en políticas de incentivo para la vivienda en el centro de Montevideo que acompañe el desarrollo del nuevo sistema de transporte.

- Comercial

En toda operación urbanística de regeneración urbana e intervenciones en la mejora de la red de transporte el uso comercial se ve beneficiado. Esto además va acompañador en las mejoras del espacio público, por lo tanto, se podrán ver más cantidad de personas transitando por las veredas de Colonia y Mercedes. Mayor tránsito de personas implica mayor cantidad de potenciales clientes en los comercios de esos ejes.

Las calles de Mercedes y Colonia van a absorber mucho tránsito peatonal que hoy circula por 18 de Julio, por lo tanto, lo que hoy es 18 de Julio va a perder potenciales compradores en comercios de la avenida. Si bien estos nuevos dos corredores metropolitanos pueden beneficiarse, 18 de Julio puede verse desfavorecida con este cambio dado que se dará una disminución en la cantidad de personas que circulan por la vía con motivos de utilizar el transporte público.

- Cultural

18 de Julio se concibe como gran eje cívico donde confieren diversas instituciones. El impacto de la mejora del transporte colectivo impacta de manera positiva en los usos culturales dado que existirá una mejor accesibilidad al entorno. Culturalmente 18 de Julio funciona como gran eje para manifestaciones, por lo que no habría interferencias con el nuevo sistema.

- Itinerante

Los usos itinerantes como las ferias, puestos y quioscos no se verán afectados al igual que los comercios dado que 18 de Julio queda con el mismo funcionamiento que tiene hoy en día. En las calles Colonia y Mercedes no se identifican tales usos.

- Estacionamiento

El acceso y salida de los estacionamientos de las calles Colonia y Mercedes se verán afectados por el nuevo sistema de transporte, sobre todo los de la acera donde se ubica el sistema de paradas y vías de ómnibus. Al tener una vía de circulación exclusiva para vehículos rodados y una alternativa cuando no hay paradas –que no está en todo el recorrido- se verá dificultado el acceso y salida de algunos de los rebajes y entradas.

- Seguridad personal

No existirá un impacto negativo en la seguridad personal de las personas, en todo caso el impacto es positivo al encontrarse los pasajeros resguardados en paradas cerradas. Esta variante de rediseño implica que exista mayor circulación de personas por las calles Colonia y Mercedes. El sistema de transporte de ómnibus biarticulados eléctricos deberá ser planificado con políticas con perspectiva de género, esto incluye la seguridad en las paradas. Se deberá contar con mejor iluminación y vigilancia. En la alternativa de pasos inferiores, las paradas inferiores deberán contar con iluminación, sistema de vigilancia, señalización y disponibilidad de servicios dado que es una zona en subsuelo con poco control.

#### **6.2.3.4. A3 18 de Julio + Colonia**

La variable A3 donde el sistema de transporte colectivo articulado circula por las calles Colonia –en dirección oeste- y 18 de Julio –en dirección este- permite descongestionar el sistema de transporte del centro de la ciudad y concentrarlo en estas dos vías paralelas donde hoy hay ómnibus por ambas circulando.

Esta alternativa a diferencia de la alternativa A1 descomprime la concentración de todo el sistema sobre 18 de Julio, dejando solamente la mitad del servicio en esta avenida. En este modelo de calle se suma en el tramo 3 espacios que pueden ser utilizados para la implantación de árboles y vegetación.

- Conectividad

**Figura 6-16 Esquema de conectividad de la variante A3**



*Fuente: Elaboración propia.*

#### - Cruces

En la alternativa A3 con pasos a nivel los corredores por Colonia 18 de Julio tienen prioridad sobre los cruces. En el caso de la variante con pasos a desnivel, el uso de la rampa desfavorecerá el espacio aprovechable en superficie de las calles 18 de Julio y Colonia, dado que se necesitan 100 metros para bajar y subir por cada uno de los cruces. Si será favorecido el espacio público de las calles que cruzan dado que lo harán en superficie.

#### ■ Espacio público

En esta variable del proyecto la calle como espacio público se ve desfavorecida para el uso de paseo y recreativo, dado que la aparición de un sistema de ómnibus en el corredor central y las paradas se podrá concebir como un límite físico entre la acera norte y sur de la calle. Es decir, la infraestructura, el flujo y frecuencia del nuevo sistema puede suponer una barrera entre un lado y otro de 18 de Julio, lo que podría generar segregación entre ambos lados. Se acentuará la circulación de los peatones por una acera sola, disminuyendo el lugar para que 18 de Julio sea un paseo que se recorra en ambas aceras. La presencia de un sistema tan rígido como este puede conflictuar los cruces de aceras norte y sur para el paseo en las cuadras con paradas.

En el caso de la calle Colonia, con las modificaciones y redistribución del espacio público se ganan aproximadamente 3.500m<sup>2</sup> de vereda. Se debe tener en cuenta que, al situar el sistema nuevo de transporte, estas tendrán mayor flujo de personas. Por tanto, al crear nuevo foco de

transporte habrá mayor flujo de personas, por lo que no deberá quedar desatendido el espacio de vereda para tránsito peatonal y para esperas de las paradas.

A la hora de rediseñar los espacios de calle se deberá contemplar -sin perder espacio para circulación peatonal- una zona para arbolado y áreas verdes. Dado que hoy en día ambas calles no lo contemplan en toda su extensión. En el caso de 18 de Julio se ganan aproximadamente 5.000m<sup>2</sup> de vereda, pero se debe tener en cuenta que se pierden metros cuadrados en los sectores de los grandes cruces. En estos casos por la presencia de las paradas que tienen una longitud aproximadamente de una cuadra.

#### ■ Usos

##### - Residencial

El hecho de que se mejore la calidad del transporte puede favorecer a la vivienda, tal como se define en los desarrollos orientados al transporte. Las personas tienden a optar por vivir en zonas de la ciudad que estén mejor conectadas por un servicio de transporte eficiente.

En Montevideo hubo un gran crecimiento del parque automovilístico en las últimas décadas, principalmente por la baja del precio real de los vehículos como autos y motos y por la preferencia de los usuarios a tener un transporte privado. La creación de un nuevo sistema de transporte eficiente podría impactar de manera positiva en el decrecimiento del parque automovilístico, incentivando que los usuarios opten por un sistema colectivo.

Para reforzar y acentuar el uso residencial se deberán pensar en políticas de incentivo para la vivienda en el centro de Montevideo que acompañe el desarrollo del sistema de transporte nuevo.

##### - Comercial

Los usos comerciales en este caso podrían beneficiarse dado que existiría una mejor accesibilidad mediante transporte colectivo. La distancia entre paradas permite también recorrer la avenida con mayor frecuencia por lo tanto incentivar más a la compra. Cultural

La avenida 18 de Julio se concibe como un gran eje cívico que concentra instituciones y actividades relevantes. La mejora del transporte colectivo tendría un efecto positivo en los usos culturales, al incrementar la accesibilidad al entorno. Sin embargo, desde una perspectiva funcional, es importante considerar que 18 de Julio también opera como eje central para manifestaciones y concentraciones masivas. En este marco, la implementación del nuevo sistema restringiría el espacio disponible para dichas actividades y haría más compleja la gestión de desvíos del transporte, en comparación con la situación actual. La afectación se dará únicamente en un sentido de circulación, dado que el sentido que circula por Colonia podrá seguir con funcionamiento normal en caso de interrupciones en 18 de Julio.

##### - Itinerante

Los usos itinerantes como las ferias, puestos y quioscos en la calle 18 de Julio se verán beneficiados al igual que los comercios dado que se libera mayor espacio para la circulación peatonal. Incentivando la calle como paseo comercial. Para el caso de la calle Colonia no se identifican tales usos, por lo que no se espera un impacto.

#### ■ **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Informe final. CAF – Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Noviembre 2025.

#### - Estacionamiento

El acceso y salida de los estacionamientos de la calle Colonia se verán afectados por el nuevo sistema de transporte, sobre todo los de la acera donde se ubica el sistema de paradas y vías de ómnibus. Al tener una vía de circulación exclusiva para vehículos rodados y una alternativa cuando no hay paradas –que no está en todo el recorrido– se verá dificultado el acceso y salida de algunos de los rebajes y entradas. En cuanto a 18 de Julio, no habrá un impacto significativo en este aspecto dado el poco uso como estacionamiento que se le da actualmente a la vía.

#### ■ Seguridad personal

No existirá un impacto negativo en la seguridad personal de las personas, en todo caso el impacto es positivo al encontrarse los pasajeros resguardados en paradas cerradas. Esta variante de rediseño implica que exista mayor circulación de personas por la calle Colonia.

El sistema de transporte de ómnibus biarticulados eléctricos deberá ser planificado con políticas con perspectiva de género, esto incluye la seguridad en las paradas. Se deberá contar con mejor iluminación y vigilancia. En la alternativa de pasos inferiores, las paradas en el nivel inferior deberán contar con iluminación, sistema de vigilancia, señalización y disponibilidad de servicios dado que es una zona en subsuelo con poco control.

#### 6.2.3.5. Conclusiones de integración urbana

Sobre la base del análisis detallado de los apartados anteriores, este capítulo presenta un resumen de los aspectos clave de cada alternativa y una evaluación comparativa entre ellas para facilitar la toma de decisiones.

La alternativa A0 tiene una valoración muy buena, dado que el impacto es positivo en todos los aspectos evaluados. Esta alternativa tiene el proyecto con mejor aprovechamiento del espacio público, se mejora el ancho de las veredas para caminar y pasear por 18 de Julio mejorándose las condiciones de la movilidad activa. Se pacifican los cruces ya que se elimina la circulación de ómnibus en superficie, dejando espacio solo para vehículos privados sin tener la prioridad que hoy tienen.

La alternativa A1 tiene una valoración regular para la integración con el resto de la ciudad, la circulación de ómnibus biarticulados eléctricos a nivel ocupa mucho espacio generando barreras físicas el norte de 18 de Julio y el sur, tanto a nivel de conectividad entre aceras como también cruces de calles. El porcentaje de ocupación del espacio público es muy alto quitándole prioridad a otros modos y a otras actividades que se puedan desarrollar en la avenida. Algunos aspectos como el comercio se pueden ver beneficiados, ya que habrá grandes traslados de gente, concentrando una mayor cantidad a la que transita hoy en día.

La alternativa A2 tiene una valoración muy mala, se va a concentrar la mayor cantidad de tráfico de transporte colectivo en las calles Colonia y Mercedes liberando algunas líneas de 18 de Julio. El comercio puede verse afectado y la circulación vehicular pueda concentrarse en gran parte sobre 18 de Julio afectando más que nada a esta avenida.

La alternativa A3 tiene una valoración mala, dado que es una combinación entre las alternativas A1 y A2. En este caso lo que se mejora en cuestiones del comercio se pierde en el aprovechamiento del espacio público y conectividad.

El transporte por 18 de Julio tiene un gran impacto para los peatones y ciclistas, sobre todo para el uso del espacio como recreativo y de paseo. Para mejorar el impacto urbano que tienen las alternativas analizadas se deben plantear políticas públicas que acompañen estos cambios, como por ejemplo repensar el sistema de transporte de toda la ciudad de Montevideo de modo que este cambio en el corredor de 18 de Julio tenga alineación con el resto del transporte. También se deberán plantear políticas del uso residencial y mejora de los espacios públicos que hoy se ven afectados.

En base a lo anteriormente desarrollado, se califican las alternativas de la siguiente manera.

**Tabla 6-16 Calificación de alternativas respecto a integración urbana**

Alternativa	Indicador
A0 Túnel por 18 de Julio	Muy bueno 
A1 En superficie por 18 de Julio	Regular 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	Regular 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	Muy malo 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	Muy malo 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	Malo 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	Malo 

*Fuente: elaboración propia*

#### 6.2.4. Impacto sobre servicios

##### 6.2.4.1. Interferencias con infraestructura de drenaje y red de agua potable

Dentro del proceso priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo se están evaluando distintas alternativas, algunas de las cuales algunas contemplan la construcción de vías o túneles para la implementación de un sistema BRT. En el presente capítulo se analiza el impacto en los servicios existente de agua potable, saneamiento y drenaje que pudiera tener la implementación de dichas alternativas.

Para esta evaluación se utiliza información provista por OSE sobre la red de agua potable e información disponible en el SIG de la Intendencia de Montevideo<sup>2</sup>, sobre la red de saneamiento y drenaje.

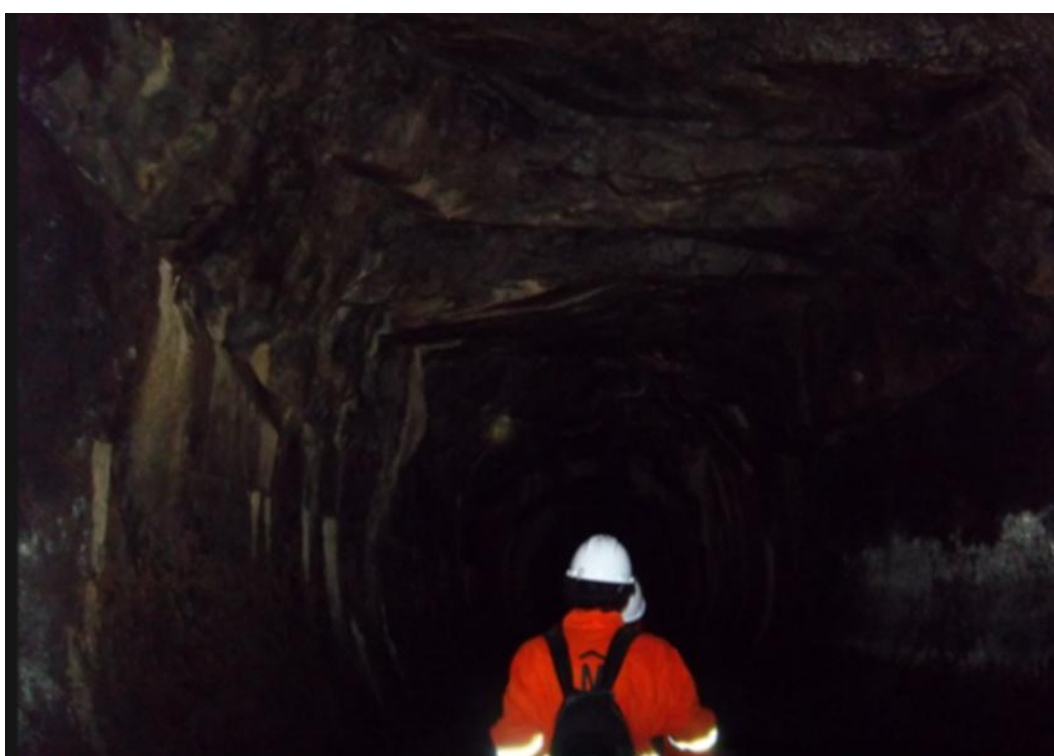
<sup>2</sup> <https://sig.montevideo.gub.uy/>

#### ■ Red de saneamiento y drenaje

La zona de afectación analizada se caracteriza por presentar un sistema de saneamiento del tipo unitario, es decir, que las aguas pluviales y aguas servidas son transportados por la misma conducción. En su mayoría predominan los colectores con sección tipo ovoide.

Se destaca la existencia de un colector principal de gran porte y profundidad que cruza 18 de Julio a la altura de la Plaza Cagancha, con eje en las calles Av. Rondeau (al norte de 18 de Julio) y Gutiérrez Ruiz (al sur de 18 de Julio). Este colector presenta una tapada aproximada de 28.0, tiene una sección ovoide con cuneta de 3.0 m de ancho y 3.65 m de alto. Parte de este colector es excavado en roca y, como se puede ver en la siguiente fotografía, en la parte superior del colector la roca al descubierto.

**Figura 6-17 Colector Av.Rondeau-Gutierrez Ruiz y 18 de Julio**



#### ■ Red de agua potable

Se dispone del trazado planimétrico de las redes de agua en el sector analizado. Si bien los trazados están georreferenciados, su ubicación exacta sólo se puede determinar mediante la realización de cateos. No obstante, para esta etapa de evaluación, la información con la que se cuenta es suficiente para dar una estimación de las interferencias con la obra proyectadas.

##### **6.2.4.1.1 Metodología de análisis de interferencias**

Para cada alternativa de trazado evaluada, se realizaron cruces entre los límites de obra que se tiene en esta etapa y las redes existentes utilizando herramientas de SIG, en este caso Q-GIS.

Se consideraron las secciones tipo del proyecto disponibles hasta el momento, estimando las profundizaciones necesarias en los puntos de cruce y estimando la longitud de concesión en función de las profundidades de la red de drenaje existe.

Se identificaron:

- Longitud de interferencias: Longitud afectada por las obras proyectadas con cada servicio (agua potable y drenaje-saneamiento)
- Estimación de longitud de reposición: Para la red de drenaje se estima la reposición de colectores necesaria para dar continuidad a la red de drenaje existente. Esto implica que la longitud de reposición es mayor que las longitudes de que son afectadas por el área de obra. Las mismas deberán ser ajustadas con información más precisa del proyecto y de la ubicación exacta de las redes.

A continuación, se presenta para cada alternativa analizada un cuadro resumen con las longitudes de reposición estimada.

a) **Alternativa A0: Soterramiento completo en 18 de Julio**

**Tabla 6-17 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long. reposición (m)
Circular	0,20	0,20	9
Circular	0,25	0,25	83
Circular	0,32	0,32	27
Circular	0,40	0,40	135
Circular	0,43	0,43	97
Circular	0,50	0,50	807
Ovoide	0,40	0,60	14
Ovoide	0,85	1,25	64
Ovoide	0,85	1,30	722
Ovoide	0,85	1,40	36
Ovoide	0,90	1,25	714
Ovoide	0,90	1,30	2351
Ovoide	1,30	1,70	432
Ovoide*	3,65	3,00	10
		<b>Total</b>	<b>5502</b>
(*) Corresponde al colector por debajo de plaza Cagancha, que, si bien altimétricamente no debería interferir, se recomienda analizar las posibles afectaciones al mismo.			

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6-18 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable**

Diámetro	Long. reposición (m)
127	1
152	3
178	122
250	4
381	2368
457	10
508	4
610	11
<b>Total</b>	<b>2523</b>

*Fuente: elaboración propia.*

b) **Alternativas A1-S: BRT en superficie por 18 de Julio con 2 trincheras (Ejido y Fernández Crespo)**

**Tabla 6-19 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long. reposición (m)
Circular	0,30	0,30	12
Ovoide	1,70	1,305	275
		<b>Total</b>	<b>287</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-20 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile**

Diámetro	Long. reposición (m)
127	5
178	9
381	353
<b>Total</b>	<b>367</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-21 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long. Reposición (m)
Circular	0,20	0,20	7
Circular	0,30	0,30	12
Circular	0,40	0,40	15
Ovoide	1,25	0,90	225
		<b>Total</b>	<b>259</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6-22 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo**

Diámetro	Long. reposición (m)
152	11
178	3
381	321
<b>Total</b>	<b>337</b>

Fuente: elaboración propia.

c) **Alternativa A2-S: BRT en superficie por Colonia y Mercedes con trincheras en Ejido y Fernández Crespo**

**Tabla 6-23 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Ejido**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Ovoide	1,50	1,00	284
Ovoide	1,65	1,25	105
Ovoide	1,70	1,30	92
		<b>Total</b>	<b>481</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6-24 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Ejido**

Diámetro	Long reposición (m)
76	8
127	9
178	9
457	9
<b>Total</b>	<b>35</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-25 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera  
Colonia y Fernández Crespo**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Circular	0,50	0,50	74
Ovoide	1,30	0,90	311
		<b>Total</b>	<b>385</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-26 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable  
trinchera  
Colonia y Fernández Crespo**

Diámetro	Long reposición (m)
76	93
102	44
127	10
178	9
<b>Total</b>	<b>156</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-27 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Mercedes y Ejido**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Ovoide	1,20	0,90	184
Ovoide	1,70	1,30	337
		<b>Total</b>	<b>413</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-28 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Mercedes y Ejido**

Diámetro	Long reposición (m)
127	7
178	9
457	9
<b>Total</b>	<b>25</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-29 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Mercedes y Fernández Crespo**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Ovoide	1,25	0,90	422
		<b>Total</b>	<b>422</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-30 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Mercedes y Fernández Crespo**

Diámetro	Long reposición (m)
76	9
127	15
178	6
<b>Total</b>	<b>30</b>

*Fuente: elaboración propia.*

d) **Alternativa A3-S: BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia con trincheras en Ejido y Fernández Crespo**

**Tabla 6-31 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Circular	0,30	0,30	12
Ovoide	1,70	1,305	275
		<b>Total</b>	<b>287</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-32 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Santiago de Chile**

Diámetro	Long reposición (m)
127	5
178	9
381	353
<b>Total</b>	<b>367</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-33 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Circular	0,20	0,20	7
Circular	0,30	0,30	12
Circular	0,40	0,40	15
Ovoide	1,25	0,90	225
		<b>Total</b>	<b>259</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-34 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera 18 de Julio y Fernández Crespo**

Diámetro	Long reposición (m)
152	11
178	3
381	321
<b>Total</b>	<b>337</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-35 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Ejido**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Largo reposición (m)
Ovoide	1,50	1,00	284
Ovoide	1,65	1,25	105
Ovoide	1,70	1,30	92
		<b>Total</b>	<b>481</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-36 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Ejido**

Diámetro	Long reposición (m)
76	8
127	9
178	9
457	9
<b>Total</b>	<b>35</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-37 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de drenaje trinchera Colonia y Fernández Crespo**

Sección	Altura (m)	Ancho (m)	Long reposición (m)
Circular	0,50	0,50	74
Ovoide	1,30	0,90	311
		<b>Total</b>	<b>385</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-38 Longitudes de reposición estimadas para las de tuberías de agua potable trinchera Colonia y Fernández Crespo**

Diámetro	Long reposición (m)
76	93
102	44
127	10
178	9
<b>Total</b>	<b>156</b>

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.2.4.2. Interferencias eléctricas

En el marco del análisis de Alternativas de priorización de transporte público en el área céntrica de Montevideo, se evalúan alternativas que afectan la circulación en Av. 18 de Julio y calles paralelas (Colonia y Mercedes). Este informe aborda, a nivel viabilidad, las interferencias eléctricas con redes de UTE asociadas a MT 6 kV, 22 kV y 31,5 kV y AT 150 kV, considerando como base la información que brinda el ente. Las alternativas a considerar son A0, A1, A2 y A3, mutuamente excluyentes.

Con el objetivo de identificar y establecer criterios y alternativas para las interferencias detectadas entre las obras del corredor y las instalaciones de UTE (MT/AT), esta memoria detalla el enfoque adoptado en cada caso, así como las consideraciones técnicas y las soluciones proyectadas para garantizar la correcta adecuación de los servicios afectados por la obra.

##### a) Definición del trazado y alternativas evaluadas

- A0a: Túnel a lo largo de Av. 18 de Julio

Corredor subterráneo tipo túnel continuo bajo 18 de Julio (profundidad de referencia para piso del túnel  $\approx 7$  m; gálibo  $\approx 4$  m). Accesos a estaciones mediante escaleras y ascensores. Tránsito general y ciclovía permanecen en superficie.

- A0b: Túnel en 18 de Julio con tramo en mina (Carlos Quijano – Acevedo Díaz)

Similar a A0a, con un tramo ejecutado en formato “mina” (profundidad de referencia para piso del túnel  $\approx 20$  m, capa superior de  $\approx 10$  m sin intervenir hasta la superficie, sin destape total en superficie) entre Carlos Quijano y Acevedo Díaz, a efectos de reducir afectación superficial y mantener continuidad operativa.

- A1-S: Pasos a desnivel en esquinas más frecuentadas (18 de Julio)

Solución en superficie para el corredor, incorporando pasos a desnivel localizados en intersecciones con mayor demanda transversal sobre 18 de Julio. Estaciones centrales; cruces restantes a nivel.

Se consideran dos pasos a desnivel:

- Desde Tristán Narvaja hasta aproximadamente Arenal Grande

- Desde Aquiles Lanza hasta Vázquez

■ **A2-S: Pasos a desnivel utilizando Mercedes y Colonia**

Traslado del corredor a Mercedes/Colonia, con desniveles puntuales en intersecciones críticas. En este escenario, 18 de Julio mantiene su funcionamiento existente.

Se consideran cuatro pasos a desnivel, dos por la calle Mercedes y dos por la calle Colonia:

- Colonia: desde Gaboto hasta Fernández Crespo
- Colonia: desde YI hasta antes de Barrios Amorín
- Mercedes: desde Gaboto hasta Fernández Crespo
- Mercedes: desde YI hasta antes de Barrios Amorín

■ **A3-S: Pasos a desnivel utilizando 18 de Julio y Colonia**

Corredor combinado entre 18 de Julio y Colonia, con pasos a desnivel en intersecciones críticas, resto de intersecciones a nivel.

Se consideran cuatro pasos a desnivel, dos por la calle 18 de Julio y dos por la calle Colonia:

- 18 de Julio: desde Tristán Narvaja hasta aproximadamente Arenal Grande
- 18 de Julio: desde Aquiles Lanza hasta Vázquez
- Colonia: desde Gaboto hasta Fernández Crespo
- Colonia: desde YI hasta antes de Barrios Amorín

**b) Interferencias con la red UTE**

Criterios y metodología de conteo de interferencias

Definición de “interferencia” a efectos del conteo de viabilidad, es el cruce de la traza del corredor con canalizaciones/cables MT o AT y sus servidumbres respectivas.

Los paralelismos significativos a lo largo de las zonas afectadas pueden requerir recalces o ductos protectores, para esta instancia no se analizaron.

Se considera una profundidad mínima estándar de instalación de 65 cm para tendidos hasta de 22 kV, 95 cms para cables de 30 kV y más de 1,5 m para las líneas de 150 kV.

No se consideraron interferencias con redes de baja tensión (alumbrado, semáforos, etc).

**Tabla 6-39 Interferencias con la red de media tensión (6 kV, 22 kV y 31,5kV)**

Alternativa	6 kV	22 kV	31,5 kV
A0a	44	1	6
A0b	13	0	3

Alternativa	6 kV	22 kV	31,5 kV
A1-S	13	1	0
A2-S	13	0	0
A3-S	19	1	0

*Fuente: elaboración propia.*

Hay 3 cruces de cable de AT a lo largo de 18 de Julio, a la altura de las calles Río Negro, Carlos Quijano y Acevedo Díaz.

**Tabla 6-40 Interferencias con la red de alta tensión (150kV)**

Alternativa	150 kV
A0a	3
A0b	1
A1-S	0
A2-S	2
A3-S	1

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.2.4.3. Comparación de alternativas sobre impacto de servicios

En función de las interferencias identificadas en los colectores y en las instalaciones eléctricas de media y alta tensión, se construyó un indicador específico que resume la magnitud del impacto para cada alternativa. A la menor cantidad de interferencias se le asignó el puntaje 5, a la mayor 1 y los rangos intermedios se definieron en 5 intervalos iguales entre el valor menor y el mayor. El puntaje general presentado para esta dimensión corresponde al promedio de dicho indicador.

**Tabla 6-41 Indicador de desempeño de impacto sobre servicios**

Alternativa	Colectores (m)	Eléctrica (m)	Indicador colectores	Ind. Alta Tensión	Ind. Media Tensión	General
A0 Túnel por 18 de Julio	5500	51 MT + 3AT	1	1	1	1
A1 En superficie por 18 de Julio	0	0	5	5	5	5
A1 En superficie por 18 de Julio (pasos inferiores)	550	9 MT	5	5	5	5
A2 En superficie Colonia y Mercedes	0	0	5	5	5	5

Alternativa	Colectores (m)	Eléctrica (m)	Indicador colectores	Ind. Alta Tensión	Ind. Media Tensión	General
A2 En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	1700	9 MT	4	5	5	5
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	0	0	5	5	5	5
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	1400	15 MT	4	5	4	4

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6-42 Calificación de alternativas respecto impacto en otros servicios**

Alternativa	Colectores Eléctrica
A0 Túnel por 18 de Julio	1 
A1 En superficie por 18 de Julio	5 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	5 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	5 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	5 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	5 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	4 

Fuente: elaboración propia.

### 6.3. Operativas

Para el análisis de las medidas de desempeño de cada alternativa relacionada con transporte se utiliza un enfoque de calificaciones categóricas. Este enfoque resulta adecuado ante la limitada información disponible en etapas tempranas, donde la incertidumbre en datos de tránsito, comportamiento modal o costos operativos imposibilita análisis cuantitativos precisos. Las categorías permiten evaluar tendencias y riesgos relativos entre alternativas sin incurrir en falsa exactitud, priorizando recursos hacia opciones viables.

Además, este método facilita la toma de decisiones colaborativas al ofrecer un lenguaje accesible para actores no técnicos. Una calificación de este tipo comunica con mayor claridad que un índice numérico abstracto, facilitando validaciones críticas en procesos participativos con distintos tipos de expertos. Esto se alinea con estándares como los manuales de la GIZ (Alemania), que exigen simplificación conceptual en informes de pre-inversión. Las escalas categóricas permiten además comparaciones multidimensionales ágiles.

Cabe destacar que las categorías no sustituyen análisis cuantitativos posteriores, sino que constituyen insumos para metodologías estructuradas. Para garantizar rigor, el proceso incluye como validación la triangulación con fuentes de literatura técnica.

A continuación, se detallan algunos supuestos considerados comunes a todas las alternativas respecto a la futura operación del corredor:

- Carriles del corredor segregados, deben evitarse interferencias con vehículos particulares y peatones por fuera de las intersecciones semaforizadas. Para las alternativas a nivel, se considera una velocidad de diseño de 45 km/h, mientras que, para la alternativa con desnivel completo, se considera 60 km/h.
- Semaforización actuada para favorecer el sentido más exigido del corredor.
- Respecto a la demanda, se consideran valores estimados por la contraparte para las horas pico de la mañana y de la tarde. Se utiliza la misma estimación para todas las alternativas, considerando que las paradas se colocarán en las mismas posiciones del corredor.
- Capacitación a conductores para uniformizar las prácticas de conducción en el corredor. Se consideran tasas de aceleración y desaceleración de  $1\text{m/s}^2$  y  $1,5\text{ m/s}^2$  respectivamente, de forma de priorizar la experiencia de servicio de los usuarios, más teniendo en cuenta que se tratará de operaciones con alta ocupación en los vehículos.
- Buses de alta capacidad (200 pax.), con cuatro puertas por lado segregadas en puertas de ascenso y descenso para mayor eficiencia.
- Paradas con validación externa, que provea acceso a los vehículos a nivel y con gestión de pasajeros en la estación. Los tiempos de ascenso en estas condiciones se consideraron de 1,2 segundos/pasajero mientras que para el descenso se tomó 0,8 segundos por pasajero. Estos tiempos corresponden a las tasas observadas en corredores de alta capacidad en otras ciudades del continente, como Bogotá con el TransMilenio. No se aplican penalizaciones por flujos cruzados, por lo que se supone ascensos/descensos ordenados por puerta.
- Evaluar regularmente y garantizar el correcto estado del pavimento.

### 6.3.1. Velocidad promedio esperada

La velocidad promedio de operación (VPO) es un indicador crítico de desempeño en corredores de transporte público porque impacta directamente en aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento del corredor. Los más importantes son:

- Eficiencia del sistema: determina la capacidad real de movilización. Reducir tiempos de viaje permite optimizar el tamaño de flota necesaria para movilizar cierta cantidad de pasajeros.
- Demanda: una VPO baja disuade a usuarios (al aumentar tiempos vs. auto/bicicleta), mientras que una VPO alta atrae pasajeros y reduce congestión vial. Mantener una velocidad operativa alta aumenta significativamente la calidad del servicio percibida por los usuarios (confiabilidad y puntualidad).

La VPO es una de las medidas de desempeño fundamentales para la operativa del corredor; condiciona su viabilidad económica, influye directamente en la elección de modo de los usuarios y contribuye a la movilidad sostenible de la ciudad.

La velocidad de un sistema de transporte público depende en gran medida de la infraestructura y el diseño vial. Disponer de carriles exclusivos o físicamente segregados evita la interacción con el tráfico general, lo que reduce retrasos. A su vez, ciertos elementos geométricos, como curvas pronunciadas, pendientes pronunciadas o estrechamientos de calzada pueden disminuir la velocidad operativa. El estado del pavimento también es determinante: baches, deformaciones o superficies irregulares obligan a reducir la marcha por seguridad y confort.

Otro factor clave es la gestión del tránsito. La congestión vehicular, en especial cuando vehículos particulares invaden carriles exclusivos o bloquean intersecciones, afecta directamente la operación. Asimismo, la semaforización incide de forma significativa: ciclos largos en rojo o la ausencia de prioridad semafórica para los buses incrementan los tiempos de viaje. También los cruces peatonales no regulados o las paradas informales interrumpen el flujo al obligar a realizar detenciones adicionales.

Las paradas y el tiempo de embarque son igualmente determinantes. Cuando la distancia entre paradas es muy reducida —por ejemplo, cada 200 metros— se incrementa el número de frenadas y aceleraciones, afectando la eficiencia. El diseño de las paradas influye: embarcaderos angostos, mala ubicación o la ausencia de sistemas de pago anticipado prolongan el tiempo de detención en cada punto.

En el ámbito de la operación y la flota, una frecuencia excesiva de buses puede provocar el denominado *bus bunching*, en el que los vehículos tienden a agruparse, perdiendo regularidad. La capacidad vehicular también es un elemento crítico: buses de menor tamaño, con capacidad inferior a 100 pasajeros, requieren más unidades para atender la misma demanda, incrementando la saturación del corredor. Además, vehículos con baja potencia o mantenimiento deficiente presentan menores tasas de aceleración y desaceleración, lo que limita su desempeño.

Finalmente, existen factores externos que, aunque no forman parte directa de la infraestructura u operación, impactan de forma considerable. Las condiciones climáticas adversas —lluvia intensa, niebla o vientos fuertes— reducen la velocidad por razones de seguridad. Incluso el comportamiento del conductor ya sea conservador o agresivo, puede influir en la velocidad comercial y la regularidad del servicio.

Por lo tanto, la velocidad promedio de operación es el resultado de interacciones complejas entre infraestructura, gestión urbana y operación. Un corredor con VPO alta refleja una planificación transversal efectiva respecto a los factores mencionados.

Para la estimación de la VOP esperada para cada alternativa, se utilizó el *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Dicho manual se basa en investigaciones realizadas sobre corredores de transporte público en ciudades de Norte América. Los valores obtenidos son adecuados para el desarrollo de estimaciones a nivel de planificación, pero pueden afinarse conforme avancen las definiciones del proyecto.

La metodología plantea la estimación independiente de los tiempos de demora en función de las distintas características del corredor para un kilómetro representativo del tramo a analizar. En este caso, se considera un único tramo con funcionamiento homogéneo de acuerdo con la definición por alternativa. Por un lado, se calcula la demora promedio en paradas, establecida por la cantidad de ascensos/descensos esperados para la puerta más demandada por vehículo

en hora pico, multiplicada por el tiempo esperado por movimiento respectivo. Se le suma además los tiempos de maniobra de detención, apertura y cierre de puertas. A continuación, en base a la velocidad de diseño de operación del corredor y de las tasas esperadas de aceleración y desaceleración, se halla el tiempo de circulación tanto a velocidad de diseño como de aproximación y salida de las estaciones como aproximación de la demora a flujo libre. Finalmente, se agrega el tiempo estimado de demora adicional generado por el pasaje de los vehículos a través de intersecciones de distintas naturaleza y el efecto de señalización u otros vehículos a lo largo del corredor. Para estimar dichas demoras adicionales, se utilizaron valores empíricos de referencia presentados en el TCRP Research Results Digest 38. Se adjunta la tabla de tiempos estimados de referencia utilizada.

**Tabla 6-43 Estimación de tiempos de demora adicional por intersecciones, señalización y conflicto con otros vehículos sugerida.**

Condition	Bus Lane	Bus Lane, No Right Turns	Bus Lane With Right Turn Delays	Bus Lanes Blocked by Traffic	Mixed Traffic Flow
<b>CENTRAL BUSINESS DISTRICT</b>					
Typical		1.2	2.0	2.5–3.0	3.0
Signals set for buses		0.6	1.4		
Signals more frequent than bus stops		1.5–2.0	2.5–3.0	3.0–3.5	3.5–4.0
<b>ARTERIAL ROADWAYS OUTSIDE THE CBD</b>					
Typical	0.7				1.0
Range	0.5–1.0				0.7–1.5

Source: TCRP Research Results Digest 38 (37).

Notes: Traffic delays reflect peak conditions.

A metric version of this exhibit appears in Appendix A.

*Fuente: Transit Capacity and Quality of Service Manual.*

La tabla sugiere rangos para los parámetros que deben ser utilizados en cada situación en función de las prioridades de vía definidas en el corredor, así como el tipo de coordinación semafórica que se utilice. Para elegir estos valores, se utilizaron los resultados obtenidos de la “Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas” de la consultora Redes. Esta consultoría realizó simulaciones para los escenarios de las alternativas A0 Túnel completo por 18 de Julio y A1 BRT en superficie por 18 de Julio. A partir de los resultados de dicha consultoría se calibraron los valores de demora adicional en las intersecciones de las alternativas simuladas y se ajustaron los valores para las restantes.

En este estudio no han sido consideradas algunas estrategias para reducir las demoras de los biarticulados en las alternativas en superficie como la reducción de la cantidad de semáforos en el tramo estudiado. En caso de eliminar el cruce transversal de vehículos o pasar a cruces con pare o ceda el paso se podría reducir el tiempo de viaje de los biarticulados. Estas modificaciones deberían estudiarse con cuidado ya que afectan a los usuarios que cruzan 18 de Julio.

Las diferencias en VOP entre las alternativas propuestas para las horas de mayor demanda de un día tipo están dados por los siguientes factores:

- A0 - Soterramiento completo en 18 de Julio: no contempla ningún conflicto con otros flujos, únicamente cambia la velocidad para detenerse y salir de las paradas. No

presenta tiempos adicionales por intersecciones, señalización y conflicto con otros vehículos. VOP esperada para horario y sentido más exigido: 30 km/h. Velocidad muy alta.

- A1 – BRT en superficie por 18 de Julio con coordinación semafórica bidireccional sin pasos inferiores: debido a la presencia de una cantidad significativa de intersecciones semaforizadas y a la dificultad adicional de realizar una coordinación conjunta en ambos sentidos, se espera una VOP baja. A partir de los resultados de las simulaciones se espera una velocidad próxima a los 18 km/h.

En caso de utilizarse pasos inferiores en las intersecciones de Ejido y Fernández Crespo (A1-S), si bien se asume que se obtendrá una VOP mayor que para la alternativa a nivel, también será baja, ya que la velocidad operativa se espera sea de 20 km/h.

- A2 y A3 - Corredores unidireccionales con coordinación independiente: se mantiene la presencia significativa de intersecciones semaforizadas pero la coordinación independiente permite olas verdes independientes por sentido, adaptables al perfil de demanda y velocidad específico. VOP esperada para horario más exigido: 22 km/h.

En caso de utilizarse pasos inferiores en las intersecciones de Ejido y Fernández Crespo, la VOP esperada para horario más exigido asciende a: 24 km/h (A2-S, A2-S). Velocidad media.

En la siguiente tabla se detallan los valores obtenidos por la metodología del *Transit Capacity and Quality of Service Manual* por alternativa de acuerdo con los supuestos expuestos anteriormente. Además de los valores de velocidad calculados a partir de las simulaciones de la consultora Redes y de las calculadas por la metodología mencionada, se agregan los tiempos de recorrido estimados en el tramo entre Bv. Artigas y Plaza Independencia.

**Tabla 6-44 Estimaciones de VOP por alternativa para hora punta de la mañana.**

Alternativa	Descripción	Velocidad (km/h)	Tiempo de recorrido en el tramo (min)	Fuente
A0	Túnel 18 de Julio	30	6,5	Simulación Redes
A1a	18 de Julio en superficie	18	11,1	Simulación Redes
A1b	18 de Julio (con pasos inferiores)	20	9,8	TCM calibrada
A2, A3	Colonia + Mercedes / Colonia + 18	22	9,0	TCM calibrada
A2s, A3s	Colonia + Mercedes/ Colonia + 18 (con pasos inferiores)	24	8,3	TCM calibrada

Fuente: elaboración propia.

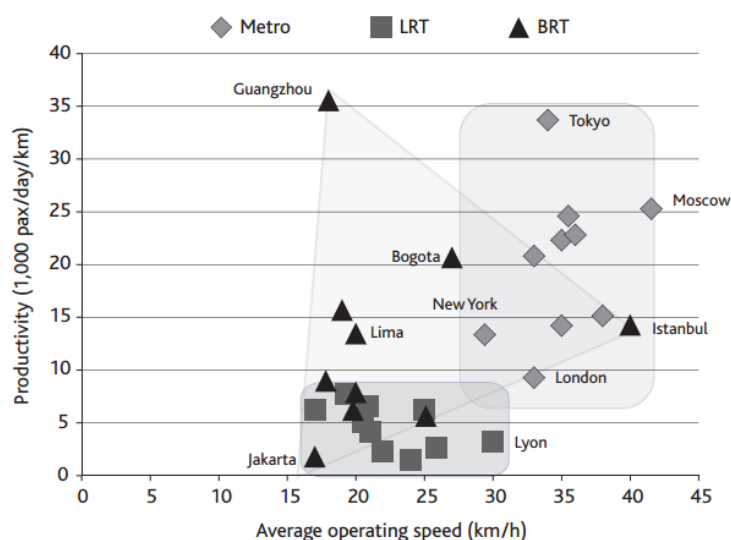
Los valores obtenidos en las estimaciones son consistentes con los reportados por otros sistemas BRT a nivel internacional recabados en la base de datos BRT Data (BRT Centre of Excellence et al, 2014), como se puede observar en la siguiente gráfica. Allí se puede observar la velocidad operativa promedio para distintos formatos de corredores de transporte público. Se plantea que los sistemas BRT operan en el entorno del triángulo envolvente de la figura, promediando una velocidad operativa alrededor de los 20 km/h. El caso de la alternativa del túnel, mientras tanto, se asemeja de acuerdo con las estimaciones a las velocidades operativas alcanzadas por sistemas de metro o BRT aislado de los flujos transversales, alcanzando los 30 km/hr.

**Figura 6-18 Velocidades operativas medias en varios sistemas, por tipo de modo.**

#### Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo

Informe final. CAF – Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Noviembre 2025.

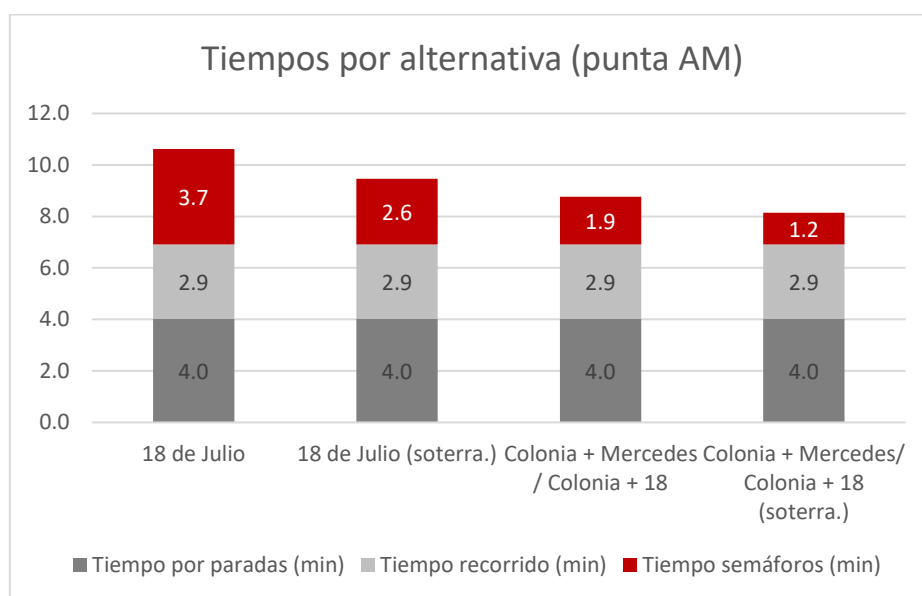


Fuente: Petzhold 2012; Lindau et al 2014.

Se puede observar que, respecto a la VOP, la alternativa del túnel presenta velocidades significativamente mayores, que representan un ahorro en tiempo de viaje.

Se detalla a continuación la asignación de tiempos esperados por elemento del corredor según la metodología del Transit Capacity Manual.

**Figura 6-19 Tiempos de operación en 18 de Julio, para alternativas en superficie en hora punta AM.**






Fuente: elaboración propia en base a Transit Capacity Manual.

Como puede concluirse de las gráficas anteriores, el componente principal de la demora en el corredor en hora pico será el tiempo en las estaciones. El correcto funcionamiento de las estaciones será fundamental para alcanzar los resultados esperados.

En base a lo anteriormente desarrollado, se califican las alternativas de la siguiente manera.

**Tabla 6-45 Calificación de alternativas respecto a la VOP.**

Alternativa	Velocidad
A0 Túnel por 18 de Julio	30 km/hr 
A1 En superficie por 18 de Julio	18 km/hr 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	20 km/hr 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	22 km/hr 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	24 km/hr 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	22 km/hr 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	24 km/hr 

*Fuente: elaboración propia.*

### 6.3.2. Regularidad del servicio

La regularidad del servicio es crucial en un corredor de transporte público porque garantiza la confiabilidad y eficiencia del sistema, elementos fundamentales para su éxito. Una frecuencia constante y predecible reduce los tiempos de espera de los usuarios, optimiza la transferencia entre rutas y evita la saturación en vehículos y paradas, mejorando la experiencia del viaje. Esto fomenta el uso del sistema, reduciendo la incertidumbre y aumentando la percepción de calidad del servicio. Además, permite una planificación de la operación más eficiente (distribución óptima de flota, control de costos operativos) y un flujo de demanda más predecible, lo que contribuye a descongestionar vías, disminuir la contaminación y potenciar el desarrollo urbano sostenible alrededor del corredor.

Las principales consecuencias de la falta de regularidad son:

- Aumento del tiempo de espera por pasajero: la irregularidad en los headways<sup>3</sup> incrementa el tiempo promedio de espera de los pasajeros, especialmente cuando los intervalos son largos. El tiempo de espera esperado por pasajero aumenta con la varianza de los headways.
- Incremento en la variabilidad del tiempo de espera: la imprevisibilidad en los tiempos de espera genera insatisfacción, ya que los pasajeros no pueden planificar sus viajes con certeza. En sistemas cercanos a su capacidad, la variabilidad puede provocar denegación de embarque, aumentando aún más la espera.
- Apelotonamiento de pasajeros en vehículos: los vehículos que siguen a intervalos largos reciben más pasajeros, lo que genera condiciones de hacinamiento en las unidades. Esto reduce el confort, aumenta el estrés y puede dificultar el acceso a asientos.

<sup>3</sup> Intervalos de tiempo entre los servicios.

- Mayor tiempo de viaje y costos operativos: la aglomeración de pasajeros prolonga los tiempos de embarque y desembarque, aumentando los tiempos totales de viaje. Los vehículos agrupados (bunching) pueden generar congestión en paradas y terminales, reduciendo la eficiencia operativa. Se requieren tiempos de recuperación más largos para restablecer la regularidad del servicio.
- Reducción en la satisfacción de los usuarios y efectos sociales: la mala experiencia puede llevar a los pasajeros a optar por otros modos de transporte. Grupos vulnerables (mujeres, adultos mayores) pueden sentirse más inseguros o afectados por esperas prolongadas. La percepción negativa del servicio puede dañar la reputación del sistema.

Por todo lo anterior, la regularidad es fundamental para la percepción del usuario sobre el servicio y por lo tanto es necesaria para convertir al transporte público en una alternativa real y atractiva frente al vehículo privado.

La regularidad en un corredor de transporte público está determinada por la interacción de tres categorías de factores. En primer lugar, los factores operativos abarcan la gestión de flota, incluyendo disponibilidad de vehículos, mantenimiento preventivo y control de fallas técnicas, la programación eficiente de conductores mediante rotaciones que aseguren cumplimiento horario, y el control en ruta mediante sistemas de monitoreo en tiempo real (GPS, sensores) para ajustar frecuencias dinámicamente. Se considera que todas las alternativas de proyecto mantendrían un estándar similar en este ámbito, dado que dependen de protocolos de gestión independientes del diseño físico del corredor.

En segundo término, los factores de infraestructura y entorno ejercen influencia crítica: la congestión vial —definida por volumen de tráfico, incidentes y obras— impacta directamente la fluidez operativa. El diseño del corredor resulta decisivo, donde elementos como prioridad semafórica, carriles exclusivos y ubicación estratégica de paradas (evitando cuellos de botella) pueden potenciar o comprometer la regularidad. Adicionalmente, condiciones climáticas adversas (lluvia intensa, niebla o eventos extremos) introducen retardos al imponer reducciones de velocidad por seguridad. Estos aspectos varían significativamente entre alternativas, especialmente en entornos urbanos densos como la Av. 18 de Julio.

Finalmente, los factores de demanda y comportamiento introducen variables dinámicas: la variabilidad de la demanda —entre horas valle y punta, o durante eventos especiales— exige flexibilidad operativa. Los tiempos de subida/bajada en paradas de alta afluencia pueden generar desfases en frecuencias, mientras la cultura operacional: cumplimiento de velocidades, manejo preventivo y disciplina en paradas; incide en la estabilidad del servicio. Aquí destaca una diferenciación clave al implementar corredores con sentidos separados: la distribución de la demanda entre ejes paralelos (como 18 de Julio y Colonia) reduce la concentración en estaciones únicas, equilibrando los tiempos de subida/bajada de los vehículos y mitigando sobrecargas puntuales que afectan la regularidad.

En síntesis, mientras algunos aspectos operativos son homogéneos entre alternativas, la infraestructura física y la gestión de conflictos con otros flujos presentan variaciones determinantes. La separación de sentidos emerge como una estrategia eficaz para atenuar

cuellos de botella y redistribuir presión operativa, mientras que soluciones de diseño —como prioridad semafórica inteligente y carriles segregados— son esenciales para contrarrestar la congestión. La sinergia entre estos tres pilares define la viabilidad de lograr una regularidad sostenible en corredores urbanos complejos. La interacción entre semáforos, paradas saturadas y tráfico mixto suelen ser los mayores causantes de problemas para la regularidad.

Las hipótesis operativas consideradas comunes a todas las alternativas son: coordinación semafórica, la demanda, gestión de subidas/bajadas de las unidades (diferenciar puertas de subida y bajada) y actuación de control de tráfico en el corredor. En base a dichas hipótesis comunes, la variabilidad esperada generada en los tiempos de estadía en cada parada es la misma para todas las alternativas. Las diferencias en regularidad se generan por lo tanto en las variaciones generadas por las intersecciones en los tiempos totales. Se considera como proxy de la regularidad esperada para cada alternativa la regularidad máxima (100%) menos la tasa entre la demora incurrida en señalización y el tiempo total de circulación en el corredor, como indicador de la variabilidad temporal esperada.

$$\text{Regularidad estimada} = 100\% - \text{Tasa de demora}$$

Por lo tanto, para calcular la regularidad de las diferentes alternativas, se considera la demora provocada por señalización y el tiempo total de circulación de los vehículos a lo largo del corredor. La demora por señalización se refiere al tiempo que los vehículos experimentan debido a las interferencias causadas por semáforos y otros sistemas de control de tráfico a lo largo del recorrido, mientras que el tiempo total de circulación incluye tanto el tiempo de viaje en movimiento como el tiempo dedicado a la estadía en las paradas.

La tasa de demora se calcula como la relación entre la demora por señalización y el tiempo total de circulación. Este valor se expresa como un porcentaje y representa la proporción de demoras respecto al tiempo total de viaje. Cuanto mayor sea la tasa de demora, menor será la regularidad del servicio.

$$\text{Tasa de demora} = \frac{\text{Demora por señalización}}{\text{Tiempo total de circulación}}$$

Para cada alternativa, se estima esta tasa de demora considerando las condiciones específicas del diseño del corredor, las intersecciones y la sincronización de semáforos.

*Corredor a desnivel completo (A0):* Exclusión total de interferencias semafóricas o vehiculares en general facilitaría mantener intervalos constantes entre buses, la tasa de demora es mínima y se estima menor al 5,0%. Regularidad: Muy alta (>95%).







*Corredor único central con coordinación semafórica bidireccional (A1):* Requiere sincronizar semáforos comunes para ambos sentidos, generando conflictos con las intersecciones con giros, cruces peatonales y sensibilidad por demanda asimétrica. Se prioriza sentido más cargado. Regularidad: Muy baja (<70%).

En caso de utilizarse pasos inferiores en las intersecciones de Ejido y Fernández Crespo, la regularidad mejora levemente al simplificar dos cruces transversales significativos y canalizar por ellos el cruce de vehículos privados al corredor. Regularidad: Baja (70%-80%).

*Corredores unidireccionales con coordinación independiente (A2, A3):* Coordinación independiente por corredor, permite olas verdes independientes por sentido, adaptables al perfil de demanda y velocidad específico. Puede utilizarse prioridad activa. Regularidad: Media (80%-90%). En este caso, la presencia de los con pasos inferiores en las intersecciones de Ejido y Fernández Crespo no aportan mejoras en la regularidad que justifiquen mejorar las categorías asignadas.

En base a lo anteriormente desarrollado, se califican las alternativas de la siguiente manera.

**Tabla 6-46 Calificación de alternativas respecto a la regularidad esperada.**

Alternativa	Tiempo en intersecciones	
A0 Túnel por 18 de Julio	>95%	
A1 En superficie por 18 de Julio	<70%	
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	78%-80%	
A2 En superficie Colonia y Mercedes	80%-90%	
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	80%-90%	
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	80%-90%	
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	80%-90%	

*Fuente: elaboración propia.*

Al igual que para las velocidades operativas, no han sido consideradas algunas estrategias para reducir las demoras de los biarticulados en las alternativas en superficie como la reducción de la cantidad de semáforos en el tramo estudiado. En caso de eliminar el cruce transversal de vehículos o pasar a cruces con pare o ceda el paso se podría aumentar la regularidad de los servicios de los biarticulados. Estas modificaciones deberían estudiarse con cuidado ya que afectan a los usuarios que cruzan 18 de Julio.

### 6.3.3. Afectación de otros usuarios

La evaluación de la afectación sobre otros usuarios es crucial para un corredor de transporte público porque determina su integración en el ecosistema urbano. Un diseño que ignore estos impactos genera conflictos como: riesgos para la movilidad activa (peatones/ciclistas) al invadir espacios seguros o dificultar cruces; interferencias con otras líneas de transporte público (ej: saturación en paradas compartidas o intersecciones), reduciendo su eficiencia; y congestión para vehículos privados si no se gestionan puntos de fricción (ej: giros conflictivos o falta de carriles dedicados). Esto no solo erosiona la aceptación ciudadana del proyecto, sino que puede aumentar la siniestralidad, la inequidad modal y los costos sociales. En esencia, un corredor exitoso equilibra su eficiencia con la protección de derechos de circulación de todos, transformándose en una columna vertebral de movilidad sostenible, no en una barrera urbana.

Un corredor de transporte público se integra en la trama urbana cuando aborda los siguientes factores clave:

1. Diseño multimodal seguro: Mantener la movilidad activa protegida, mediante ciclovías segregadas, cruces peatonales seguros y accesos inclusivos a estaciones. Garantizar la convivencia con otros modos, a través de carriles de giro dedicados para vehículos privados y zonas de carga/descarga sin obstruir el flujo del TP.
2. Conectividad intermodal: Deben generarse nodos integrados, las paradas deberán estar vinculadas con bicisendas y con estacionamientos de bicicletas disponibles, se deben garantizar estaciones y conexiones peatonales directas y cómodas. Es importante la sincronización con otros sistemas, mediante coordinación horaria y tarifaria con redes complementarias (ej: alimentadores).
3. Gestión del espacio público: Equilibrio de usos del espacio, debe evitarse la saturación de vías (ej: semáforos inteligentes que prioricen buses sin ahogar tráfico transversal) y se debe fomentar y contar con planes de reactivación urbana (uso de las estaciones y paradas como activadoras del comercio local).
4. Participación comunitaria en la etapa de diseño: Inclusión de vecinos, comerciantes y grupos vulnerables en la planificación para resolver conflictos tempranos (ej: rutas de carga, accesos a colegios).
5. Flexibilidad operativa: Franjas horarias adaptativas mediante carriles dinámicos que cambian según hora pico/noche, permitiendo usos mixtos. Señalética intuitiva que provea información clara para todos los usuarios (peatones, ciclistas, conductores).
6. Sostenibilidad ambiental/urbana: Mitigación de externalidades: Barreras acústicas, pavimento reduccion de ruido y corredores verdes que mejoren calidad de aire. Densificación equilibrada: Evitar gentrificación a largo plazo mediante políticas de suelo inclusivo alrededor de estaciones.

La integración exitosa surge de diseñar el corredor no como una infraestructura aislada, sino como parte del tejido conectivo urbano. Esto requiere alinear la eficiencia del TP con los derechos de movilidad del resto de los usuarios.

En este apartado se realizará un análisis sobre las afectaciones sobre los demás usuarios durante la etapa de operación. En primera instancia, se hace una valoración cualitativa de las afectaciones al resto de los usuarios para luego definir un conjunto de indicadores que permiten hacer una clasificación cuantitativa de los impactos.

*Corredor a desnivel completo (A0):* Cuando el corredor este operativo, es la alternativa que presenta la menor afectación respecto a los demás usuarios del espacio público, los cuales desarrollan sus actividades en superficie: permite los cruces peatonales y vehiculares sin interferencia y mantiene la capacidad actual en la red vial. Respecto a las demás líneas de transporte público, la afectación generada por la alternativa es muy baja durante la operación. Siempre y cuando las estaciones estén bien resueltas respecto a la conexión con los alimentadores, al canalizar los flujos del corredor por el túnel, se minimizan los conflictos con la operación en superficie. Sería de esperar que dicha operación mejore respecto a la situación actual, a partir de un proceso de rediseño a partir del corredor.

*Corredor único central con coordinación semafórica bidireccional (A1).* En la operación, presenta ligeramente menores conflictos con la movilidad activa frente a las otras alternativas en superficie: permite cruces peatonales más cortos, ciclovías laterales protegidas y estaciones compactas. Es importante generar islas peatonales que refuercen la seguridad de los cruces, teniendo en cuenta la velocidad con la que se operará el corredor. Frente a los vehículos privados, se pierde nivel de servicio en 18 de julio, incluso con pérdida de continuidad entre Plaza Independencia y Carlos Quijano. Si la semaforización es muy demandada por el corredor probablemente genere colas en las vías transversales. Respecto a las restantes líneas de transporte público, la afectación no debería ser importante siempre y cuando se rediseñen los recorridos de forma de minimizar los cruces transversales al corredor.

En caso de utilizarse pasos inferiores en las intersecciones del corredor con Ejido y Fernández Crespo, se genera una ruta preferente para el cruce del corredor tanto para los vehículos privados como para las líneas externas de transporte público. Es de esperar que esta medida mitigue la afectación para estos usuarios. No debería presentar variaciones significativas para los usuarios de movilidad activa frente a la alternativa original sin pasos inferiores.

*Corredores unidireccionales con coordinación independiente (A2, A3):* En estado de operación, el uso de corredores independientes distribuye la carga vial, evitando la saturación de la Av. 18 de julio. Respecto a la movilidad activa, esta alternativa presenta dos corredores de cruce independientes, tanto para peatones como para ciclistas y divide las estaciones, generando mayores distancias de traslado. Por otra parte, los cruces para este tipo de movilidad con el corredor son más cortos y, por tanto, más seguros. Respecto a los flujos transversales, tanto de transporte privado como de líneas de transporte público externas, la separación de los corredores genera un doble cruce con el corredor. Si se asume la prioridad del mismo respecto a la coordinación semafórica, esto puede resultar en una doble barrera para los flujos transversales. Por otra parte, de acuerdo con la calle utilizada, se retiran total o parcialmente 400 plazas de estacionamiento y 17 zonas de carga/descarga para Colonia, o 375 plazas de estacionamiento y 4 zonas de carga/descarga en caso de Mercedes.

En caso de utilizarse pasos inferiores en las intersecciones del corredor con Ejido y Fernández Crespo, estos constituirán una ruta preferente para el cruce del corredor tanto para los vehículos privados como para las líneas externas de transporte público. Es de esperar que esta medida mitigue la afectación para este tipo de usuarios, particularmente en este caso en el cual el flujo transversal se enfrenta a una doble barrera por el corredor. No debería presentar variaciones significativas para los usuarios de movilidad activa frente a la alternativa original de corredores independientes sin pasos inferiores.

Para complementar el análisis cualitativo, se evaluaron las alternativas utilizando los siguientes indicadores cuantitativos, cada uno con una escala de hasta 5 puntos.

- Indicador de espacio disponible (IED) mide la proporción de espacio disponible para los usuarios en relación con el espacio máximo generado. El espacio disponible se ha calculado a partir de las definiciones de secciones transversales de cada una de las alternativas como la diferencia entre la superficie utilizada para la calzada en el diseño frente a la actual. Se debe notar que, si bien todas las alternativas presentan menores

superficie de calzada que en la actualidad, a excepción del túnel, las demás lo hacen reduciendo la cantidad de carriles de la configuración actual.

- Indicador de carriles afectados (ICA) refleja el inverso de la proporción de carriles retirados para la circulación de vehículos particulares. En este caso se calculó la cantidad de carriles de tránsito particular que se eliminan de las calles 18 de Julio, Colonia y Mercedes en las alternativas, respecto a la configuración actual. No se ha considerado la afectación a calles transversales.
- Indicador de vehículos afectados (IVA) mide el inverso de la proporción de vehículos afectados respecto del valor máximo observado. Para este indicador se obtuvo la cantidad de vehículos que circulan diariamente por las calles en las que se colocaría un corredor exclusivo. El universo de vehículos afectados en la realidad será mayor ya que los corredores tendrán un impacto en las proximidades de los ejes utilizados para el BRT, no únicamente en las calles 18 de Julio, Colonia y Mercedes. Para obtener un número de mayor precisión se debe recurrir a simulaciones del área céntrica.
- Indicador de buses afectados (IBA) considera el inverso de la proporción de buses afectados en relación con el máximo registrado. Se identificaron para este indicador la cantidad de servicios de transporte público que deben cambiar su recorrido con las definiciones de las alternativas en hora punta de actividad.

A partir de estos cuatro indicadores, ponderados de manera uniforme, se calcula un índice general (IG) que permite cuantificar el impacto total de cada alternativa. Los resultados muestran que la A0 obtiene la mejor puntuación, al generar el mayor espacio disponible sin afectar carriles de circulación ni vehículos.

**Tabla 6-47. Indicadores de afectación a los usuarios por alternativa**

Alternativa	Espacio disponible (m <sup>2</sup> )	Carriles afectados	Vehículos afectados (veh/día)	Buses afectados (bus/hora)	IED	ICA	IVA	IBA	IG
A0	14.000	0	0	0	5	5	5	5	5
A1 y A1-S	3.000	-1	16.000	50	1	3	3	2	2
A2 y A2-S	8.300	-2	32.500	80	3	1	1	1	2
A3 y A3-S	8.500	-2	36.000	40	3	1	1	3	2

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-48 Calificación de alternativas respecto a la afectación a otros usuarios.**

Alternativa	Afectación
A0 Túnel por 18 de Julio	5 
A1 En superficie por 18 de Julio	2 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	2 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	2 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	2 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	2 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	2 

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.3.4. Robustez ante afectaciones operativas

La robustez operativa es crucial en un corredor de transporte público porque garantiza la continuidad del servicio ante fallos, emergencias o eventos disruptivos (climáticos, técnicos o sociales). Un sistema robusto minimiza las afectaciones en la ciudad mediante redundancias físicas (vías alternas), flexibilidad operativa (desvíos rápidos) y tolerancia a fallos tecnológicos (*backups* semafóricos), evitando así: pérdidas económicas masivas por corredores colapsados, erosión de la confianza ciudadana (caídas abruptas de demanda), y crisis de movilidad urbana que afectan especialmente a poblaciones vulnerables. La robustez ante afectaciones transforma el corredor en un servicio esencial resiliente, capaz de degradar su desempeño sin colapsar, protegiendo la funcionalidad urbana incluso en escenarios críticos.

Como primer paso para evaluar la robustez de las alternativas se realizaron simulaciones de maniobras de los ómnibus biarticulados en posibles desvíos de sus trayectorias usuales para evitar obstáculos eventuales en su ruta. Por ejemplo, para la alternativa que circula por 18 de Julio en superficie, se simularon las maniobras necesarias para desviar el recorrido por Colonia o Mercedes, según el sentido de circulación.

**Figura 6-20 Maniobras simuladas de desvío de biarticulados en 18 de Julio – Paraguay y Paraguay – Mercedes.**



*Fuente: elaboración propia.*

Se observó en todos los casos que la maniobrabilidad de los biarticulados es suficiente para realizar los giros en las principales calles transversales por lo que no se considera un impedimento para el funcionamiento adecuado de los desvíos.

Se describen a continuación las características de robustez de cada una de las alternativas. Para mantener el criterio de las otras variables, se asigna la calificación Muy buena (5) a la mejor alternativa y Muy mala (1) a la peor.

*Corredor a desnivel completo (A0).* Las vulnerabilidades críticas para esta alternativa son las siguientes: dependencia de puntos únicos de acceso, no hay redundancia operativa: fragilidad frente a emergencias o siniestros. Sin embargo, se cuenta con capacidad en los corredores a nivel para replicar la operación de forma provisoria, en particular 18 de Julio en superficie tendrá superficie disponible para prever puntos de ingreso a las unidades en caso de interrupción del servicio por el túnel. Se debe mencionar que la probabilidad de interrupción del servicio en el túnel es sensiblemente menor que para la operación en superficie, por lo que es razonable esperar una menor cantidad de eventos que provoquen desvíos en esta alternativa. Un análisis de las afectaciones actuales en la calle 18 de Julio se presenta en la Sección 6.4.2. Robustez ante afectaciones operativas: Muy buena.

*BRT en superficie por 18 de Julio (A1 y A1s).* Exhibe un escenario con menor flexibilidad frente al anterior: el uso de paradas centrales y la redundancia geográfica del corredor dificulta su uso en caso de cortes. En esa situación, la operación debería desviarse o trasladarse a Colonia y Mercedes. Las maniobras de los vehículos, en particular los giros a la izquierda para salir de 18 de julio permiten los desvíos parciales. Como medida paliativa adicional podría considerarse la instalación de paradas provisionales aunque se debe considerar que el ancho de faja de Colonia y Mercedes es reducida en varios tramos de sus recorridos. En resumen, se cuenta con redundancia operativa limitada y compleja, pero con capacidad de adaptación táctica. Robustez ante afectaciones operativas: Muy mala.

*BRT en superficie por Mercedes y Colonia (A2 y A2s).* Similar a la alternativa anterior, pero con redundancia geográfica disponible para ambos sentidos en 18 de Julio. 18 de Julio tiene un

mayor ancho de faja disponible por lo que debería ser más sencilla la instalación de paradas provisionarias para el acceso a los servicios. Robustez ante afectaciones operativas: Regular.

*BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia (A3 y A3s).* De forma análoga a los casos anteriores, el servicio se podría desviar hacia Mercedes en caso de que la interrupción se provoque en 18 de Julio o a la propia 18 de Julio si la interrupción ocurre en Colonia. Robustez ante afectaciones operativas: Regular.

Los pasos inferiores no impactan significativamente la robustez de las alternativas, ya que los planes de contingencia no varían respecto a este aspecto.

**Tabla 6-49 Calificación de alternativas respecto a la robustez frente a afectaciones operativas.**

Alternativa	Indicador
A0 Túnel por 18 de Julio	Muy bueno 
A1 En superficie por 18 de Julio	Muy malo 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	Muy malo 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	Regular 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	Regular 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	Regular 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	Regular 

**Fuente: elaboración propia.**

## 6.4. Estratégicas

### 6.4.1. Plazo de ejecución estimado

En la estimación de los plazos de ejecución, y considerando las diferencias en la magnitud de las obras según cada alternativa, se estableció una diferenciación entre los tiempos correspondientes a obras de túnel y pasos inferiores, por un lado, y los plazos asociados a obras en superficie, por el otro.

#### 6.4.1.1. Obras de túnel y pasos inferiores

La planificación temporal de la obra constituye un elemento esencial para garantizar el correcto desarrollo de los trabajos, optimizar los recursos disponibles y cumplir con los objetivos establecidos en el proyecto. En este sentido, el plazo de ejecución se ha definido considerando tanto las metodologías constructivas propuestas asociadas a sus rendimientos de construcción, como las longitudes específicas por tramos del trazado de la obra.

#### A) Rendimientos según las metodologías constructivas propuestas

### Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo

Informe final. CAF – Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Noviembre 2025.

Se muestra a continuación una tabla con los rendimientos establecidos para cada una de las metodologías constructivas. Estos se han calculado en base a la experiencia en el desarrollo de obras de similares características.

Se debe tener presente que se desconoce la geotecnia en detalle, por lo que los rendimientos propuestos deberán ajustarse en función de las propiedades geotécnicas de los terrenos realmente atravesados en el trazado y, de este modo, poder precisar los elementos de diseño para considerar sus rendimientos asociados correctamente (a modo de ejemplo, ejecución de pantallas continuas versus pilotes).

**Tabla 6-50 Rendimientos de construcción**

<b>Tabla de rendimientos:</b>	<b>m/día</b>
C&C 1C_somero	0,67
C&C 2C_somero	0,48
C&C 3C_somero	0,39
C&C 3C_profundo (NATM)	0,23
C&C 3C_profundo (Tuneladora)	0,20
C&C (somero)_Salida Emergencia	0,29
C&C (prof_Tun)_Salida Emergencia	0,13
C&C (prof_NATM)_Salida Emergencia	0,16
C&C (promedio)_Salida Emergencia	0,21
NATM. 2C	2,5
NATM. 3C	2
Tuneladora	13,33

*Fuente: elaboración propia.*

A partir de los rendimientos establecidos y considerando las tres combinaciones anteriormente explicadas, se ha realizado una tabla en la que se incluyen las longitudes por tramo y los rendimientos que aplican en cada uno de los casos. De esta forma se pueden obtener los tiempos parciales de ejecución de cada tramo.

Igualmente, se ha estimado un número de equipos de trabajo para cada una de las combinaciones que, combinado con los tiempos parciales para cada uno de los tramos, ayuda a conocer la carga de trabajo asignada a cada uno de los equipos considerados.

De esta forma y ordenando de forma lógica y secuencial los trabajos, se puede obtener el camino crítico de cada una de ellas, que será el que marque el plazo de la obra civil.

Del mismo modo que para la obtención de los rendimientos, en el caso del número de equipos estimado se estaría en la misma situación, siendo necesario conocer en detalle la geotecnia existente para poder definir con mayor precisión el número de equipos. El número de equipos podrá variar significativamente si la geotecnia presente es favorable y los rendimientos pueden mejorarse por la utilización de maquinaria con mejores rendimientos globales.

Tramos		Combinación 1					Combinación 2					Combinación 3				
	Longitud (m)	Met. Constructivo	Rendimiento	Unidad	Tiempos Parciales		Met. Constructivo	Rendimiento	Unidad	Tiempos Parciales		Met. Constructivo	Rendimiento	Unidad	Tiempos Parciales	
Accesos 1 vía	318	C&C (somero)_1C	0,67	m/día	474,26	3 equipos independientes de C&C	C&C (somero)_1C	0,67	m/día	474,26	3 equipos independientes de C&C	C&C (somero)_1C	0,67	m/día	474,26	10 equipos independientes de C&C
Tramo 3 carriles	74	C&C (somero)_3C	0,39	m/día	191,82		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	191,82		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	191,82	
Parada 1	116,07	C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87	
Andenes de Seguridad	193,29	C&C (somero)_3C	0,39	m/día	501,04		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	501,04		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	501,04	
Parada 2	116,07	C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87	
Transición con descenso	60	C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Tramo recto	37,57	C&C (somero)_2C	0,48	m/día	78,75	1 equipo de tuneladora + 3 equipos independientes de C&C	C&C (somero)_2C	0,48	m/día	78,75	4 equipos de NATM + 4 equipos independientes de C&C	C&C (somero)_2C	0,48	m/día	78,75	
Tramo recto	241,61	Tuneladora 3C / C&C Pozo Tun.	0,29	m/día	826,57		NATM. 2C / C&C Pozo NATM	0,40	m/día	606,77		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	506,43	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Parada 3	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	0,20	m/día	576,35		C&C (prof_NATM)_3C	0,23	m/día	497,63		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87	
Andenes de Seguridad Profundos	157,81	Tuneladora 3C	13,33	m/día	11,84		NATM. 3C	2,00	m/día	78,91		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	409,07	
Giro Gaucho	38	Tuneladora 3C	13,33	m/día	2,85		NATM. 3C	2,00	m/día	19,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	98,50	
Tramo recto	231,45	Tuneladora 3C	13,33	m/día	17,36		NATM. 2C	2,50	m/día	92,58		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	485,13	
Salida de Emergencia N°1	16,59	C&C (prof_Tun)_SE	0,13	m/día	131,74		C&C (prof_NATM)_Salida Emergencia	0,13	m/día	131,74		C&C (somero)_Salida Emergencia	0,29	m/día	56,46	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Parada 4	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	0,20	m/día	576,35		C&C (prof_NATM)_3C	0,23	m/día	497,63		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Tramo recto	429,55	Tuneladora 3C	13,33	m/día	32,22		NATM. 2C	2,50	m/día	171,82		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	900,36	
Salida de Emergencia N°2	16,59	C&C (prof_Tun)_SE	0,13	m/día	131,74		C&C (prof_NATM)_Salida Emergencia	0,13	m/día	131,74		C&C (somero)_Salida Emergencia	0,29	m/día	56,46	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Parada 5	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	0,20	m/día	576,35		C&C (prof_NATM)_3C	0,23	m/día	497,63		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Tramo recto	391	Tuneladora 3C	13,33	m/día	29,33		NATM. 2C	2,50	m/día	156,40		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	819,56	
Salida de Emergencia N°3	16,59	C&C (prof_Tun)_SE	0,13	m/día	131,74		C&C (prof_NATM)_Salida Emergencia	0,13	m/día	131,74		C&C (somero)_Salida Emergencia	0,29	m/día	56,46	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Parada 6	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	0,20	m/día	576,35		C&C (prof_NATM)_3C	0,23	m/día	497,63		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	300,87	
Transición	60	Tuneladora 3C	13,33	m/día	4,50		NATM. 3C	2,00	m/día	30,00		C&C (somero)_3C	0,39	m/día	155,53	
Tramo recto	77,33	Tuneladora 3C / C&C Pozo Tun.	0,23	m/día	339,97	1 equipo independiente de C&C	NATM. 2C / C&C Pozo NATM	0,26	m/día	296,56	1 equipo independiente de C&C	C&C (somero)_2C	0,48	m/día	162,09	
Giro a 8 de Octubre	140	C&C (somero) 2C / C&C Pozo Tun	0,34	m/día	412,69		C&C (somero) 2C / C&C Pozo NATM	0,36	m/día	394,18		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	293,45	
Salida de Emergencia N°4	16,59	C&C (promedio)_SE	0,21	m/día	79,05		C&C (promedio)_Salida Emergencia	0,21	m/día	79,05		C&C (somero)_Salida Emergencia	0,29	m/día	56,46	



Tramo recto a Tres Cruces y retorno	65,02	C&C (somero) 2C / C&C Pozo Tun	0,34	m/día	191,67		C&C (somero) 2C / C&C Pozo NATM	0,36	m/día	183,07		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	136,29	
Tramo recto a Tres Cruces y retorno	167,01	C&C (somero)_2C	0,48	m/día	350,06		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	350,06		C&C (somero)_2C	0,48	m/día	350,06	

*Tabla 6-51 Evaluación tiempos de construcción por tramos según las metodologías constructivas seleccionadas para las combinaciones establecidas*

(\*) Nótese que en la Combinación 1 se deben considerar los pozos de entrada y salida de la tuneladora, por lo que el rendimiento es proporcional a los metros que se ejecutan mediante tuneladora y mediante C&C en dichos tramos. Igualmente se aplica proporcionalidad en los rendimientos en las transiciones entre C&C someros y profundos.

(\*\*) La ejecución de las instalaciones de seguridad en túneles se estima que sean ejecutadas, en todas las combinaciones, en aproximadamente 8 meses, no siendo una actividad que se suma al final del plazo de obra, sino que se debe ir considerando según finalicen los equipos de obra civil sus respectivos tramos. Para la estimación se han considerado 3 equipos de trabajo diferenciados para ejecución de las instalaciones de seguridad. El rendimiento estimado es de 15,58 m/día (3.738 m/240 días) para la ejecución de las instalaciones de seguridad de túneles.

**Es importante señalar que los valores indicados en la tabla no conforman el plazo de ejecución total de obra dado que únicamente se ha considerado la obra civil necesaria para poder comparar las metodologías constructivas propuestas. Conceptos como pueden ser los servicios afectados en cada una de las combinaciones, desvíos de tráfico, así como las instalaciones, arquitectura interior y exterior de las paradas/salidas de emergencia, pozos de bombeo necesarios por generarse puntos bajos, reposición de superficie de cada alternativa, instalaciones de obra, puesta en marcha, entre otros, no se han incluido en este análisis, por lo que no se pueden tomar las cantidades indicadas en la tabla anterior como plazo final de la obra.**

## B) Plazos de obra para las combinaciones

A continuación, y en función de los equipos considerados, se procede a obtener el plazo de ejecución de cada una de las combinaciones. Si los equipos considerados e indicados en la tabla del punto anterior del presente informe se modificaran, los plazos que a continuación se desarrollan deberían revisarse.

Igualmente es necesario indicar que se han considerado tiempos corridos, esto es, considerando 24 horas de trabajo los 7 días de la semana ya que de lo que se trata principalmente es de comparar las diferentes combinaciones entre sí.

### ■ Combinación 1

Esta combinación se caracteriza por la inclusión de la tuneladora, encargada de ejecutar diferentes tramos del trazado. El plazo aproximado para este tipo de máquinas (nueva, no acondicionada) en cuanto a su fabricación (12 meses), transporte (3 meses) y montaje (3 meses), será el tiempo aproximado a considerar antes de que dicha máquina pueda ejecutar el primer tramo de túnel. Igualmente es necesario tener presente que esta metodología requiere de un pozo de entrada (aprox. 100 m, aunque podría reducirse) y de otro de salida para la tuneladora (40 m), así como una profundidad considerable en las paradas.

Es necesario considerar que, hasta que no estén ejecutadas las paradas, no podrá iniciar sus labores la tuneladora. Una vez que llegue la tuneladora a las paradas, deberá arrastrarse junto con su *back up* a través de las citadas paradas para que prosiga la ejecución del túnel.

La construcción de las paradas con posterioridad a la ejecución del túnel con tuneladora es viable técnicamente, aunque implica retos constructivos significativos y no se ha considerado dicha posibilidad en el presente estudio.

Por lo anteriormente explicado, y considerando que el tiempo de fabricación, montaje y transporte de la tuneladora es inferior al de ejecución de las paradas y pozos de entrada y salida (considerando la cantidad de equipos que se han establecido de C&C), el camino crítico vendrá determinado por el tiempo de ejecución de C&C por cada equipo de construcción en el tramo de tuneladora, a lo que habrá que sumar el tiempo de ejecución de todos los tramos de túnel ejecutados mediante tuneladora. A esto se le debe añadir el plazo para las instalaciones de seguridad en túneles.

**Tabla 6-52 Plazo Combinación 1**

Combinación 1				
Equipo	Obra Civil	Instalaciones de Seguridad		Total
Equipo 1	667,72	19,58	EQUIP. 1	687,30
Equipo 2	667,72	19,58	EQUIP. 2	687,30
Equipo 3	667,72	19,58	EQUIP. 3	687,30
Equipo 4	968,87	53,52	EQUIP. 1	1022,39
Equipo 5	968,87	53,52	EQUIP. 2	1022,39
Equipo 6	968,87	53,52	EQUIP. 3	1022,39

Combinación 1				
Equipo	Obra Civil	Instalaciones de Seguridad		Total
Equipo 7	1.033,46	24,95	EQUIP. 1	1058,42
Tuneladora (fabricación, transporte y montaje)	540,00	-	-	540,00
Tuneladora (ejecución de túnel)	128,04	-	-	128,04
Varios	30,00	30,00	-	60,00
Camino crítico (días)				1.246,46
Camino crítico (años)				3,41

Fuente: elaboración propia.

#### ■ Combinación 2

Esta combinación se caracteriza por ejecutar túnel mediante NATM en diferentes tramos del trazado. Esta metodología requiere que, antes de empezar a ejecutarse túneles por medio del citado método, sea necesario haber ejecutado el C&C desde el que se inicie el túnel ejecutado mediante NATM.

Con esta consideración y teniendo presente los equipos propuestos para esta combinación, el camino crítico vendrá determinado por el tiempo de ejecución de C&C por cada equipo de construcción en el tramo de NATM, a lo que habrá que sumar el tiempo de ejecución del equipo de NATM que tenga mayor longitud de ejecución. A esto se le debe añadir el plazo para las instalaciones de seguridad en túneles.

**Tabla 6-53 Plazo Combinación 2**

Combinación 2				
Equipo	Días	Instalaciones de Seguridad		Total
Equipo 1	667,72	19,58	EQUIP. 1	687,30
Equipo 2	667,72	19,58	EQUIP. 2	687,30
Equipo 3	667,72	19,58	EQUIP. 3	687,30
Equipo 4	793,19	40,14	EQUIP. 1	833,33
Equipo 5	793,19	40,14	EQUIP. 2	833,33
Equipo 6	793,19	40,14	EQUIP. 3	833,33
Equipo 7	793,19	40,14	EQUIP. 1	873,47
Equipo 8	1.033,46	24,95	EQUIP. 1	1058,42
NATM N°1	191,69	-	-	191,69
NATM N°2	238,49	-	-	238,49
NATM N°3	224,11	-	-	224,11
NATM N°4	141,80	-	-	141,80
Varios	30,00	30,00	-	60,00
Camino crítico (días)				1.171,96
Camino crítico (años)				3,21

Fuente: elaboración propia.

#### ■ Combinación 3

Esta combinación se caracteriza por ejecutarse íntegramente por medio de C&C, por lo que el camino crítico vendrá determinado directamente por el número de equipos de C&C que se puedan disponer y su simultaneidad. En este caso se han asumido 10 equipos a lo largo del trazado. A esto se le debe añadir el plazo para las instalaciones de seguridad en túneles.

**Tabla 6-54 Plazo Combinación 3**

Combinación 3				
Equipo	Días	Instalaciones de Seguridad		Total
Equipo 1	844,10	24,43	EQUIP. 1	868,52
Equipo 2	844,10	24,43	EQUIP. 2	868,52
Equipo 3	844,10	24,43	EQUIP. 3	868,52
Equipo 4	844,10	24,43	EQUIP. 1	892,95
Equipo 5	844,10	24,43	EQUIP. 2	892,95
Equipo 6	844,10	24,43	EQUIP. 3	892,95
Equipo 7	844,10	24,43	EQUIP. 1	917,38
Equipo 8	844,10	24,43	EQUIP. 2	917,38
Equipo 9	844,10	24,43	EQUIP. 3	917,38
Equipo 10	844,10	24,43	EQUIP. 1	941,80
Varios	30,00	30,00	-	60,00
Camino crítico (días)				1.001,80
Camino crítico (años)				2,74

*Fuente: elaboración propia. (\*) Notar que en el plazo de la Combinación 3, al considerar 3 equipos de instalaciones de seguridad y estar repartido proporcionalmente el trazado entre todos los equipos de obra civil, esto se traduce en que se tendrán que ir decalando unos tramos respecto de otros, en cuanto a las instalaciones de seguridad se refiere.*

Como resumen de los plazos obtenidos, se puede comprobar que, si bien existen ciertas diferencias en los plazos para las tres combinaciones establecidas, es importante resaltar que estos plazos dependen íntegramente del número de equipos considerados y de la simultaneidad de los mismos, ya que cualquier decalaje entre el inicio de trabajos de unos u otros equipos hará variar los plazos calculados anteriormente.

#### 6.4.1.2. Obras en superficie con pasos inferiores

Para calcular los plazos de las obras de los pasos inferiores se utilizaron las longitudes de las transiciones y tramos completamente soterrados junto con los rendimientos esperados para cada tipo de obra. A partir de estas combinaciones se estimaron las duraciones de las obras en cada uno de los pasos inferiores y se verificó que los resultados sean coherentes con plazos de obras recientes de similares características.

Es importante notar que los plazos aquí presentados son una estimación inicial que además dependen fuertemente de la capacidad para realizar las obras de forma simultánea. Para cada uno de los casos se presentan a continuación las principales hipótesis utilizadas.

**a) Alternativas A1-S: BRT en superficie por 18 de Julio con 2 trincheras (Ejido y Fernández Crespo)**

A continuación, se detalla el listado de actividades requeridas para la ejecución de las obras viales junto con los plazos estimados para cada una.

1. Instalación de obra y preparación del terreno
  - Replanteo topográfico
  - Movilización de equipos
    - Plazo: 2 semanas
2. Obras de pasos inferiores
  - 100 semanas: se asume que ambas obras se realizan en simultáneo. Paso inferior de Fernández Crespo tiene una duración aproximada de 85 semanas mientras que el paso inferior frente a la Intendencia alcanza las 100 semanas.
3. Movimiento de suelos
  - Excavación
  - Compactación de Subrasante
  - Control de nivelación
    - Plazo: 4 semanas
4. Obras de drenaje
  - Plazo: 4 semanas
5. Subbase y base granular
  - Tendido y compactación
  - Control de calidad (densidad, humedad, placa de carga)
  - Control de nivelación de las capas
    - Plazo: 8 semanas
6. Pavimento
  - Asfalto: imprimación, carpeta base, carpeta rodadura
    - Plazo: 6 semanas
7. Cordones, veredas y accesos
  - Plazo: 3 semanas
8. Señalización y seguridad vial
  - Horizontal
    - Plazo: 2 semana
9. Terminación y limpieza de obra
  - Plazo: 2 semana

**Tabla 6-55 Plazo Alternativa A1-S**

Actividad	Plazo (semanas)
Instalación de obra y preparación del terreno	2
Obras de pasos inferiores	100
Movimiento de suelos	4
Obras de drenaje	4
Subbase y base granular	8
Pavimento	6
Cordones, veredas y accesos	3
Señalización y seguridad vial	2
Terminación y limpieza de obra	2
<b>Camino crítico (semanas)</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

Aunque el plazo total previsto es del orden de 100 semanas, determinadas actividades pueden y deben desarrollarse en paralelo con el fin de agilizar la ejecución de la obra, tal como ocurre con el movimiento de suelos y las obras de drenaje.

**b) Alternativa A2-S: BRT en superficie por Colonia y Mercedes con trincheras en Ejido y Fernández Crespo**

A continuación, se detalla el listado de actividades requeridas para la ejecución de las obras viales junto con los plazos estimados para cada una.

1. Instalación de obra y preparación del terreno
  - Replanteo topográfico
  - Movilización de equipos
    - Plazo: 2 semanas
2. Obras de pasos inferiores
  - 60 semanas: se asume que se construyen cuatro pasos inferiores de forma simultánea.
3. Movimiento de suelos
  - Excavación
  - Compactación de Subrasante
  - Control de nivelación
    - Plazo: 6 semanas
4. Obras de drenaje
  - Plazo: 6 semanas
5. Subbase y base granular
  - Tendido y compactación
  - Control de calidad (densidad, humedad, placa de carga)
  - Control de nivelación de las capas
    - Plazo: 10 semanas
6. Pavimento
  - Asfalto: imprimación, carpeta base, carpeta rodadura
    - Plazo: 8 semanas
7. Cordones, veredas y accesos
  - Plazo: 4 semanas
8. Señalización y seguridad vial
  - Horizontal
    - Plazo: 3 semana
9. Terminación y limpieza de obra
  - Plazo: 3 semana

**Tabla 6-56 Plazo Alternativa A2-S**

Actividad	Plazo (semanas)
Instalación de obra y preparación del terreno	2
Obras de pasos inferiores	60
Movimiento de suelos	6
Obras de drenaje	6
Subbase y base granular	10

Actividad	Plazo (semanas)
Pavimento	8
Cordones, veredas y accesos	4
Señalización y seguridad vial	3
Terminación y limpieza de obra	3
<b>Camino Crítico (semanas)</b>	<b>60</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Aunque el plazo total previsto es del orden de 60 semanas, determinadas actividades pueden y deben desarrollarse en paralelo con el fin de agilizar la ejecución de la obra, tal como ocurre con el movimiento de suelos y las obras de drenaje, ejecución de señalización y seguridad vial con la terminación y limpieza de obra.

**c) Alternativa A3-S: BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia con trincheras en Ejido y Fernández Crespo**

A continuación, se detalla el listado de actividades requeridas para la ejecución de las obras viales junto con los plazos estimados para cada una.

1. Instalación de obra y preparación del terreno
  - Replanteo topográfico
  - Movilización de equipos
    - Plazo: 2 semanas
2. Obras de pasos inferiores
  - 80 semanas: se asume que se construyen los cuatro pasos inferiores de forma simultánea. La duración estimada de cada pasos inferiores 18 de Julio se encuentra entre las 65 y las 80 semanas mientras que las obras de cada pasos inferiores en Colonia alcanzan las 60 semanas.
3. Movimiento de suelos
  - Excavación
  - Compactación de Subrasante
  - Control de nivelación
    - Plazo: 6 semanas
4. Obras de drenaje
  - Plazo: 6 semanas
5. Subbase y base granular
  - Tendido y compactación
  - Control de calidad (densidad, humedad, placa de carga)
  - Control de nivelación de las capas
    - Plazo: 10 semanas
6. Pavimento
  - Asfalto: imprimación, carpeta base, carpeta rodadura
    - Plazo: 8 semanas
7. Cordones, veredas y accesos
  - Plazo: 4 semanas
8. Señalización y seguridad vial
  - Horizontal
    - Plazo: 3 semana
9. Terminación y limpieza de obra

- Plazo: 3 semana

**Tabla 6-57 Plazo Alternativa 3a**

Actividad	Plazo (semanas)
Instalación de obra y preparación del terreno	2
Obras de pasos inferiores	80
Movimiento de suelos	6
Obras de drenaje	6
Subbase y base granular	12
Pavimento	8
Cordones, veredas y accesos	4
Señalización y seguridad vial	3
Terminación y limpieza de obra	3
<b>Camino Crítico (semanas)</b>	<b>80</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Aunque el plazo total previsto es del orden de 80 semanas, determinadas actividades pueden y deben desarrollarse en paralelo con el fin de agilizar la ejecución de la obra, tal como ocurre con el movimiento de suelos y las obras de drenaje, ejecución de señalización y seguridad vial con la terminación y limpieza de obra.

#### **6.4.1.3. Obras en superficie – Alternativas A1, A2 y A3**

A continuación, se detalla el listado de actividades requeridas para la ejecución de las obras viales junto con los plazos estimados para cada una.

1. Instalación de obra y preparación del terreno
  - Replanteo topográfico
  - Movilización de equipos
    - Plazo: 2 semanas
2. Subbase y base granular
  - Tendido y compactación
  - Control de calidad (densidad, humedad)
  - Control de nivelación de las capas
    - Plazo: 8 semanas
3. Pavimento
  - Asfalto: imprimación, carpeta base, carpeta rodadura
    - Plazo: 6 semanas
4. Cordones, veredas y accesos
  - Plazo: 3 semanas
5. Señalización y seguridad vial
  - Horizontal
    - Plazo: 2 semana
6. Terminación y limpieza de obra
  - Plazo: 2 semana

**Tabla 6-58 Plazo alternativas A1, A2 y A3**

Actividad	Plazo (semanas)
Instalación de obra y preparación del terreno	2
Subbase y base granular	8 a 12
Pavimento	6 a 8
Cordones, veredas y accesos	3 a 4
Señalización y seguridad vial	2 a 3
Terminación y limpieza de obra	2 a 3
<b>Camino Crítico (semanas)</b>	<b>23 a 32</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Aunque el plazo total previsto es del orden de los 5 a 7 meses, determinadas actividades pueden desarrollarse en paralelo con el fin de agilizar la ejecución de la obra, tal como ocurre con la ejecución de señalización y seguridad vial con la terminación y limpieza de obra.

#### 6.4.1.4. Resumen plazos de ejecución

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los tiempos de obra estimados para cada una de las alternativas considerando las obras en superficie, túnel y pasos inferiores. En el caso de la alternativa A0 se considera la combinación 3 definida previamente, debido a la ventaja que presenta en términos de tiempos y costos.

**Tabla 6-59 Resumen de tiempos de obra por alternativa**

Alternativa	Tiempos de obra (años)
A0 Túnel por 18 de Julio	2,74 (Comb. 3) 
A1 En superficie por 18 de Julio	0,6 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	1,9 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	0,9 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	1,1 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	0,9 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	1,5 

*Fuente: elaboración propia.*

Estos tiempos parten de la base que las obras son ejecutadas de los pasos inferiores son ejecutadas en simultáneo para reducir el tiempo total. Sin embargo, podrían construirse en etapas en caso de que esto represente una ventaja para mitigar las afectaciones de otros usuarios y de la actividad propia de la ciudad.

#### 6.4.2. Interferencia con eventos urbanos

En el capítulo de integración urbana se analizó, para cada alternativa, el impacto esperado sobre aspectos culturales. Los resultados muestran que las alternativas que involucran a la avenida 18 de Julio presentan los mayores efectos en este aspecto, dado que, además de constituir un corredor urbano de relevancia metropolitana, funciona como el principal espacio público de Montevideo, concentrando la mayoría de las manifestaciones masivas y eventos a lo largo del año. Por lo tanto, modificar y alterar el diseño de la calle cortando su fluidez podrá modificar la organización de estos eventos.

Culturalmente esta gran avenida se concibe con un gran eje cívico y democrático para la población, ya que en la memoria colectiva de los ciudadanos allí se realizan los grandes encuentros. Según datos del año 2023 obtenidos por el Centro de Investigaciones Económicas (CINVE), la avenida 18 de Julio tiene aproximadamente 2 cortes por semana. Por año, 5 de los cortes corresponden a grandes manifestaciones, el total de motivos para los que se corta la calle suma 109 por lo que se genera además de mucha concurrencia, muchos cambios y desvíos del tránsito.

La compatibilidad entre los cortes de la calle y el diseño del sistema de ómnibus biarticulados eléctricos con carriles centrales para un sistema rápido es limitada, debido principalmente a la infraestructura requerida por este tipo de sistemas, la cual dificulta la implementación de desvíos como los que se realizan en la operación actual. Tampoco hay compatibilidad con lo que se plantea en las Directrices Departamentales de Montevideo (2012) en donde se establece que se priorice la circulación peatonal y que se promuevan actividades esporádicas de carácter masivo.

La alternativa que mejor se desempeña en este aspecto es la A0, dado que, al operar el transporte público a desnivel, se evita cualquier impacto sobre el uso del espacio en superficie. A su vez, la alternativa donde los ómnibus circulan por Colonia y Mercedes será la siguiente de menor impacto en este aspecto, ya que no se deberán realizar ni desvíos ni modificaciones por 18 de Julio.

Para complementar este análisis, se realizó una evaluación cuantitativa del impacto de las interrupciones en la Avenida 18 de Julio sobre cada alternativa propuesta. La evaluación se basó en la frecuencia y el tipo de interrupción, asignando un valor de 0 si la interrupción no afecta la alternativa, 1 si tiene un impacto total, y 0,5 si el impacto es parcial.

En el caso de la alternativa A0, no se presenta ningún impacto, ya que el sistema de transporte operaría completamente a desnivel, evitando cualquier interferencia de los eventos que se desarrollan en la superficie de 18 de Julio. Por lo tanto, se asigna una puntuación de 0 en todas las categorías de interrupción.

Por otro lado, las alternativas A1 y A3, que operan en 18 de Julio sin pasos inferiores, presentan un impacto mucho mayor. Los eventos en la superficie, como siniestros, manifestaciones o grandes eventos culturales, afectan directamente el paso de los ómnibus. En estos casos, el impacto es total en todas las interrupciones que afectan a la avenida.

En las alternativas A2 y A2-S, el impacto es parcial. Dado que estas alternativas no circulan por 18 de Julio, solo algunos eventos cercanos generan desvíos o modificaciones menores en el tráfico. Por esta razón, los eventos que afecten a otras calles pueden tener un impacto limitado, pero en general se considera un impacto parcial en los casos de manifestaciones.

Finalmente, en las alternativas A1-S y A3-S, los pasos inferiores reducen el impacto de los eventos en la superficie, aunque no lo elimina completamente. Los cortes de tráfico y eventos masivos que se desarrollen en 18 de Julio siguen afectando el sistema, pero aquellos eventos que toman lugar en los pasos inferiores disminuyen las interrupciones.

A continuación, se presenta la tabla resumen con las categorías de interrupción y el valor asumido para cada alternativa.

**Tabla 6-60 Evaluación de impacto de interrupciones en 18 de Julio – Año 2024**

Interrupción	Total 2024	A0	A1	A1-S	A2	A2-S	A3	A3-S
Siniestros	16	0	1	1	1,5	1,5	1,25	1,25
Evento deportivo	9	0	1	1	0	0	0,5	0,5
Evento político	8	0	1	0	0	0	0,5	0
Evento cultural	37	0	1	1	0,5	0,5	1	1
Grandes manifestaciones	4	0	1	1	0,5	0,5	1	0,5
Manifestaciones	23	0	1	0,5	0	0	0,5	0
Mantenimiento	11	0	1	1	0	0	0,5	0,5
Obra	6	0	1	1	0	0	0,5	0,5
Policía	9	0	1	1	0	0	0,5	0,5
Vacío	14	0	1	1	0	0	0,5	0,5
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>0</b>	<b>137</b>	<b>117,5</b>	<b>20,5</b>	<b>20,5</b>	<b>89</b>	<b>73,5</b>

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-61 Calificación de alternativas respecto a la interferencia con eventos urbanos.**

Alternativa	Cantidad de interrupciones	
A0 Túnel por 18 de Julio	0	⬆️
A1 En superficie por 18 de Julio	137	⬇️
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	118	⬇️
A2 En superficie Colonia y Mercedes	45	⬆️
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	45	⬆️
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	101	⬇️
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	84	⬇️

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.4.3. Flexibilidad ante crecimiento futuro

La flexibilidad ante el crecimiento futuro de la demanda garantiza la viabilidad económica y funcional a largo plazo, evitando costosas remodelaciones u obsolescencia prematura. Un diseño flexible permite escalar capacidad (ej: ampliar frecuencias, integrar buses articulados o tranvías) sin alterar infraestructura base, adaptándose a cambios demográficos, nuevos polos urbanos o picos de demanda imprevistos. Esto minimiza disrupciones operativas (como las sufridas en TransMilenio, Bogotá al superar su capacidad proyectada en 5 años) y costos de oportunidad (ej: sobreprecios del 200% en ampliaciones post-hoc en Lima). En esencia, la flexibilidad transforma el corredor en un activo adaptable, protegiendo inversiones públicas y asegurando servicio continuo ante la incertidumbre urbana.

El criterio de flexibilidad ante crecimiento futuro de la demanda se valoró considerando la capacidad de adaptación física y operativa de cada alternativa frente a posibles escenarios de aumento sostenido en el volumen de pasajeros o en la demanda de circulación. No se trata únicamente de la posibilidad teórica de modificar la infraestructura, sino de la factibilidad técnica, económica y temporal de hacerlo con el sistema en funcionamiento y sin afectar gravemente su operación o el entorno urbano.

Respecto a la flexibilidad de ampliación por crecimiento futuro de la demanda, como primer punto, se estimó la relación entre volumen de buses en hora pico y la capacidad para cada una de las alternativas de acuerdo con la metodología del *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. La metodología calcula el intervalo necesario entre vehículos para cumplir con la demanda manteniendo baja la probabilidad de apilamiento de vehículos en las estaciones. En todos los casos dicha tasa (volumen/capacidad) entregó valores menores a al 50%, por lo que en todas las alternativas hay margen para atender mayores demandas aumentando la frecuencia sin que el sistema colapse. Sin embargo, las alternativas presentan distintas características frente a la flexibilidad ante aumento de demanda que se detalla a continuación.

Para mantener el criterio de las otras variables, se asigna la calificación Muy alta (5) a la mejor alternativa y Muy baja (1) a la peor.

- Túnel completo por 18 de Julio (A0). Viaductos fijos no permiten ampliar capacidad o, en todo caso, ampliarlos es muy costoso: escalar la demanda implica nuevas excavaciones con el costo y las interrupciones que ello conlleva. Sin embargo, para esta alternativa se cuenta con el espacio disponible en superficie para adaptar el sistema ante crecimiento de la demanda. Flexibilidad ante crecimiento futuro de la demanda: Muy alta (cambiando el modo de operación).
- 18 de Julio completamente en superficie y con pasos inferiores (A1, A1s). Permite aumento de frecuencias en primer término y, luego, si la demanda creciera aún más o se incorporaran nuevas líneas podría tomarse espacio para ampliación de carriles en detrimento del transporte privado. Un punto de conflicto ante la ampliación para esta alternativa se da en las estaciones. Por un lado, al ser compartidas por ambos sentidos del corredor, tendrán su capacidad comprometida más rápidamente que la alternativa con corredores independientes. Por otro lado, el largo de los andenes no puede superar el de la cuadra, ya que de lo contrario bloquearían las intersecciones. Esto restringe la cantidad de buses que pueden atenderse en simultáneo. En cambio, en la alternativa con pasos inferiores es posible disponer de andenes de más de 100 metros, lo que permite el espacio para atender en simultáneo a una mayor cantidad de buses. Adicionalmente, la coordinación semafórica tiene un límite de capacidad menor respecto a los corredores independientes debido a la coordinación conjunta para ambos sentidos. Las obras en superficie son más económicas y presentan menos interrupciones que los pasos inferiores. Flexibilidad ante crecimiento futuro de la demanda: Muy baja.
- Corredores unidireccionales con coordinación independiente (A2, A2s, A3, A3S). Esta alternativa presenta escalabilidad modular: permite crecimiento asimétrico y presenta mayor facilidad para añadir carriles adicionales o extensiones de estaciones. Flexibilidad ante crecimiento futuro de la demanda: Regular.

**Tabla 6-62 Calificación de alternativas respecto a la flexibilidad frente a crecimiento de demanda.**

Alternativa	Flexibilidad
A0 Túnel por 18 de Julio	Muy alta 
A1 En superficie por 18 de Julio	Muy baja 
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	Muy baja 
A2 En superficie Colonia y Mercedes	Regular 
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	Regular 
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	Regular 
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	Regular 

*Fuente: elaboración propia.*

## 6.5. Económicas

### 6.5.1. Costo de obras civiles

#### 6.5.1.1. Costos túnel y pasos inferiores

Para realizar la valoración económica se ha establecido una tramificación de los túneles según las distintas alternativas seleccionables explicadas a lo largo del presente informe. Esta tramificación se ha realizado en función de las combinaciones posibles, según las metodologías constructivas presentadas. A cada tramo se le puede asignar una sección tipo (según la metodología constructiva en cada caso) a la que se aplica su coste por metro lineal correspondiente.

##### 6.5.1.1.1 Precios Unitarios (macroprecios)

A continuación, se muestran los macroprecios estimados por metro lineal de cada una de las metodologías constructivas, incluyendo únicamente el coste de la obra civil, sin considerar instalaciones, servicios afectados, desvíos de tráfico, así como las instalaciones, arquitectura interior y exterior de las paradas, elevaciones mecánicas vinculadas a las paradas, iluminación de paradas y salidas de emergencia, pozos de bombeo necesarios por generarse puntos bajos, reposición de superficie de cada alternativa, intervenciones en superficie, instalaciones de obra, entre otros. Estos macroprecios son por tanto de ejecución material, es decir, no incluyen Gastos Generales, Beneficio Industrial (beneficio del Contratista) ni impuestos tipo IVA.

- Los macroprecios de la tuneladora son precios para longitudes por encima de 3,5 km, dado que es la distancia mínima que se estima como óptima para la aplicación de esta metodología. Considera el macroprecio las siguientes unidades:
  - Excavación.

- Anillo de hormigón armado (dovelas).
- Rellenos de aceras.
- Caz de plataforma.
- Colector.
- Tuberías de PVC.
- Barandilla de seguridad.
- Elevaciones mecánicas que atañen a la seguridad en túneles
- Auscultación.
- Sistemas de evacuación hasta cota de terreno
- Los macroprecios del método NATM considera las siguientes unidades:
  - Excavación.
  - Sostenimiento. (Hormigón proyectado, bulones, fibras de acero, cerchas).
  - Revestimiento. (Hormigón en masa para revestimiento, hormigón para relleno de aceras, fibras de polipropileno para protección contra el fuego).
  - Impermeabilización. (Lámina de PVC+Geotextil).
  - Caz de plataforma.
  - Colector.
  - Tuberías de PVC.
  - Barandilla de seguridad.
  - Elevaciones mecánicas que atañen a la seguridad en túneles
  - Auscultación.
  - Sistemas de evacuación hasta cota de terreno

Para el método NATM se ha estimado un 80% del tramo a ejecutar mediante esta metodología con sostenimiento tipo o ligero y el 20% restante mediante sostenimiento pesado; esto debido al desconocimiento de la geotecnia en detalle. La diferencia entre ambos sostenimientos implica mayores espesores de hormigón, mayor densidad de refuerzos mediante bulones, aplicación de contrabóveda y paraguas de micropilotes sistemáticos, entre otros.

- Los macroprecios del método Cut&Cover consideran las siguientes unidades:
  - Excavación de pantallas.
  - Excavación masiva.
  - Rellenos.
  - Hormigón de limpieza.
  - Hormigón armado.
  - Acero y encofrados.
  - Impermeabilización.
  - Demoliciones
  - Rellenos de aceras.
  - Caz de plataforma.

- Colector.
- Tuberías de PVC.
- Barandilla de seguridad.
- Elevaciones mecánicas que atañen a la seguridad en túneles
- Auscultación.
- Sistemas de evacuación hasta cota de terreno

Para el caso de C&C profundo se incluyen igualmente estampidores, definiéndose estos como elementos auxiliares colocados horizontalmente entre dos elementos constructivos (por ejemplo, entre las pantallas de una excavación) para soportar los empujes laterales.

Los macroprecios se han obtenido de bases de precios de administraciones nacionales españolas que se actualizan con una periodicidad bianual. No obstante, es conveniente señalar que si bien los macroprecios que se muestran a continuación deberían llevar un ajuste país, para poder tratarlos como precios locales en Uruguay, al realizar este análisis se observó que es adecuado mantener los precios manejados en España.

A continuación, se indican los macroprecios unitarios obtenidos para las diferentes metodologías constructivas:

#### **Mediante Tuneladora:**

- 2 carriles: 31.612 €/metro lineal de túnel. (Este valor no aplica en las combinaciones).
- 3 carriles: 47.214 €/metro lineal de túnel.

#### **Mediante NATM:**

##### 2 carriles:

- 2 carriles (Sostenimiento Tipo): 16.776 €/metro lineal de túnel. (80%)
- 2 carriles (Sostenimiento Pesado): 27.293 €/metro lineal de túnel. (20%)

Aplicando porcentualmente los sostenimientos (80%-20%), el precio por metro lineal para 2 carriles es de: 18.879 €/metro lineal de túnel.

##### 3 carriles:

- 3 carriles (Sostenimiento Tipo): 23.352 €/metro lineal de túnel. (80%).
- 3 carriles (Sostenimiento Pesado): 36.311 €/metro lineal de túnel. (20%).

Aplicando porcentualmente los sostenimientos (80%-20%), el precio por metro lineal para 3 carriles es de: 25.944 €/metro lineal de túnel.

#### **Mediante Cut&Cover:**

Mediante Cut&Cover (para profundidad de pantalla de 12 m):

- 1 carril: 27.068 €/metro lineal.
- 2 carriles: 30.277 €/metro lineal.
- 3 carriles: 34.956 €/metro lineal.

Mediante Cut&Cover (para profundidad de pantalla de 33 m; NATM):

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Informe final. CAF – Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Noviembre 2025.

- 3 carriles: 117.000 €/metro lineal.
- Parada: 122.056 €/metro lineal. (Incluye los lados cortos de la parada).

Mediante Cut&Cover (para profundidad de pantalla de 40,5 m; Tuneladora):

- 3 carriles: 147.461 €/metro lineal.
- Parada: 153.728 €/metro lineal. (Incluye los lados cortos de la parada).

#### **Salidas de Emergencia:**

- Para el caso de la tuneladora, las salidas de emergencia se ejecutarán mediante Cut&Cover profundo (profundidad de pantalla de 40,5 m) y galería peatonal de longitud aproximada de 4,5 m que conecta el túnel con el citado pozo, para las 3 salidas de emergencia en el tramo intermedio del trazado. Igualmente contará con 1 salida de emergencia ejecutada mediante Cut&Cover promedio (profundidad de pantalla de 20 m) para la salida al final del trazado.

Galería peatonal: 32.745 €/metro lineal. Considera refuerzo interior del anillo de dovelas para demolición y ejecución de galería reforzada.

Pozo de dimensiones interiores aproximadas en planta de 4,5 x 14,6 m y profundidad de pantalla de 40,5 m: 105.432 €/metro lineal.

Pozo de dimensiones interiores aproximadas en planta de 4,5 x 14,6 m y profundidad de pantalla de 20 m: 66.420 €/metro lineal.

- Para el caso de NATM, las salidas de emergencia se ejecutarán mediante Cut&Cover profundo (profundidad de pantalla de 33 m) y galería peatonal de longitud aproximada de 4,5 m que conecta el túnel con el citado pozo, para las 3 salidas de emergencia en el tramo intermedio del trazado. Igualmente contará con 1 salida de emergencia ejecutada mediante Cut&Cover promedio (profundidad de pantalla de 20 m) para la salida al final del trazado.

Galería peatonal: 21.245 €/metro lineal. Considera refuerzo interior para demolición y ejecución de galería reforzada.

Pozo de dimensiones interiores aproximadas en planta de 4,5 x 14,6 m y profundidad de pantalla de 33 m: 84.713 €/metro lineal.

Pozo de dimensiones interiores aproximadas en planta de 4,5 x 14,6 m: 71.635 y profundidad de pantalla de 20 m: 66.420 €/metro lineal.

- Para el caso de Cut&Cover, las 4 salidas de emergencia se ejecutarán mediante Cut&Cover somero (profundidad de pantalla de 12,0 m)

Pozo de dimensiones interiores aproximadas en planta de 4,5 x 14,6 m: 27.409 €/metro lineal.

#### **Para todos los métodos:**

- Transporte de tierras o residuos inertes a vertedero: 0,33 €/m<sup>3</sup>km

### 6.5.1.1.2 Combinaciones de metodologías constructivas según la tramificación

A continuación, se incluye una matriz en la que, por medio de colores, se puede comprobar si son o no plausibles las distintas combinaciones en función de los elementos a diseñar y la metodología constructiva.

**Tabla 6-63 Combinación de elementos de diseño y metodologías constructivas**

	Elementos de diseño				
	1 carril	2 carriles	3 carriles	Transiciones	Paradas
NATM - 2 carriles					
NATM - 3 carriles					(*)
Tuneladora 2 carriles					
Tuneladora 3 carriles					(*)
Cut&Cover	(**)				

Fuente: elaboración propia. (\*) A priori se ha descartado que las paradas puedan ser ejecutadas mediante NATM y tuneladora, aunque podrían llegar a ejecutarse mediante estos métodos, no sin complicaciones de diseño y ejecución añadidas, como se explica a continuación. (\*\*) Añadido a lo anterior, se indica que los accesos de 1 vía deberán ejecutarse entre pantallas/muros laterales al inicio de la rampa de acceso, pasando a la metodología de Cut&Cover una vez que la altura sea coincidente con la altura de la sección funcional. Podrá pasar a la alternativa mediante NATM o tuneladora cuando se logre una cobertera de entre 1,5-2 veces el diámetro/anchura de excavación.

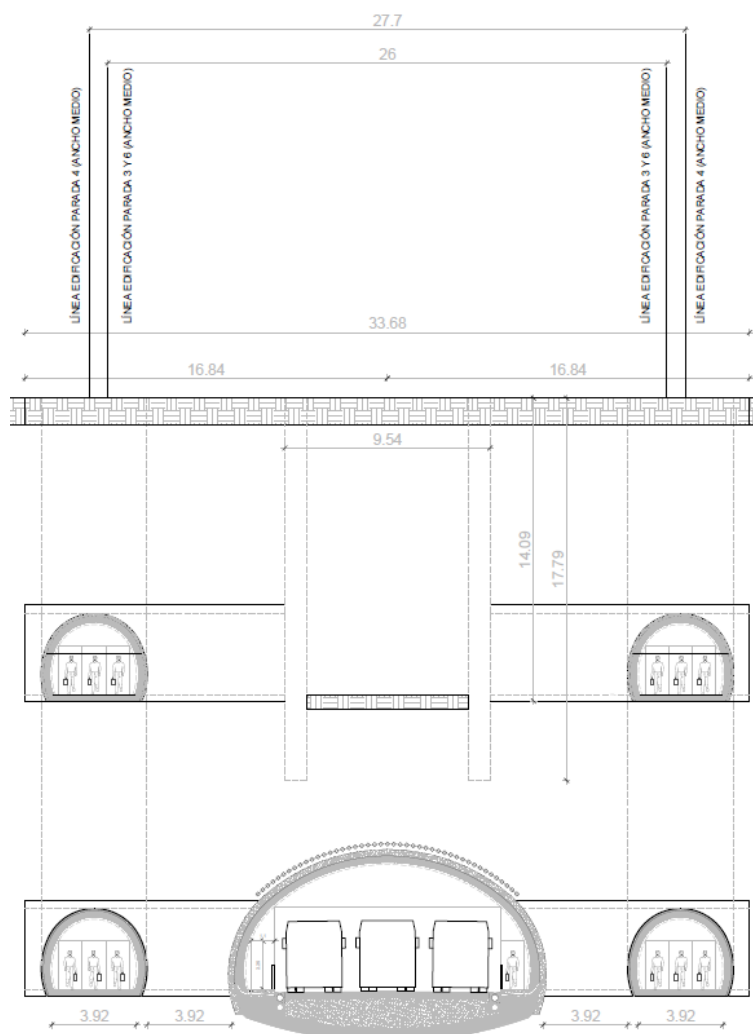
El diseño debería incluir no sólo el túnel principal sino además galerías de acceso/salida a superficie que complejizarían los puntos de acceso. Igualmente, se debería ejecutar un acceso mediante Cut&Cover para poder ejecutar las galerías con una cobertera adecuada.

A continuación, se muestra un esquema de cómo podría realizarse el diseño de las paradas mediante NATM, (esquema similar a ejecutarse mediante tuneladora), requiriendo de galerías peatonales laterales desde los hastiales del túnel y subiendo las citadas galerías hasta poder conectar con un Cut&Cover que conectaría con la superficie.

Las citadas galerías que se inician desde los hastiales del túnel deben separarse lateralmente al menos un diámetro de la galería peatonal para poder ejecutarse de forma segura, aunque esto debería confirmarse en etapas posteriores del proyecto con la geotecnia específica en cada caso.

Igualmente, y con el fin de proteger los edificios bajo los que se excavarían las galerías, se deberían realizar tratamientos del terreno que mitiguen las afecciones a los citados edificios; estos tratamientos son costosos. De igual forma, la sección del túnel vehicular tendría que reforzarse con la inclusión de contrabóveda, refuerzos como pueden ser paraguas de micropilotes, refuerzos en el propio hormigón de sostenimiento/revestimiento, entre otros.

**Figura 6-21 Esquema ejecución paradas mediante NATM**



Por todo lo anteriormente expuesto, si bien es cierto que es posible ejecutar este tipo de diseños, por los condicionantes existentes en cuanto a que la proyección vertical de las edificaciones cae sobre las galerías peatonales para el acceso desde superficie, a priori no será considerada en este estudio como metodología dentro de las combinaciones posibles.

Además, esta alternativa implicaría ubicar las paradas a la derecha de las unidades, cuando en este estudio se están considerando a la izquierda. Si bien los vehículos disponen de puertas en el lateral derecho, estas están destinadas a situaciones de emergencia y no resultan adecuadas para paradas de alta demanda.

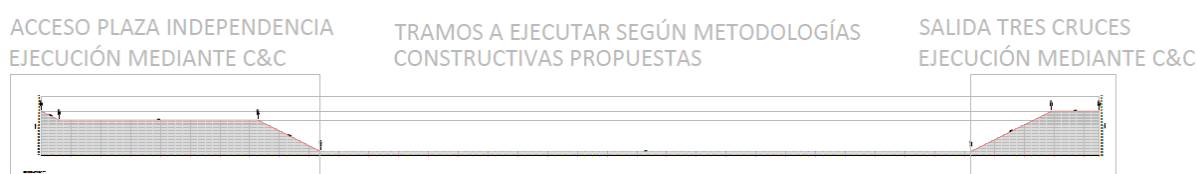
Por tanto, partiendo de la base de que todas las paradas se deben ejecutar mediante Cut&Cover, los tramos entre las mismas podrían ejecutarse mediante las 3 alternativas ya explicadas (NATM, tuneladora y Cut&Cover).

Es necesario considerar que para el caso de aplicar en todo el trazado el método de Cut&Cover, las paradas implicarán excavaciones someras, no así para el caso de túnel mediante NATM o con tuneladora, donde las paradas serán profundas.

### 6.5.1.1.3 Valoración económica en función de las combinaciones posibles

Con el fin de ajustar el trazado en el acceso y en la salida a la superficie, considerando las pendientes vehiculares posibles, para la valoración económica se considera en todas las combinaciones (para el acceso y la salida) la misma metodología mediante Cut&Cover, al disponer de poca cobertera.

**Figura 6-22 Perfil longitudinal. C&C en accesos**



Según se ha explicado en puntos anteriores, existen por tanto diferentes combinaciones que a continuación se pasan a describir y valorar:

**Combinación 1:** ejecución de paradas mediante Cut&Cover y el resto de los túneles mediante tuneladora de 3 carriles. Exige que las paradas estén ejecutadas previamente al paso de la tuneladora. Una vez que la tuneladora llegue a las paradas, se arrastra a través del Cut&Cover ya ejecutado de la parada y prosigue la ejecución de túnel por el extremo contrario. De igual forma exige que, en base a la cobertera mínima de entre 1,5-2 veces el diámetro/anchura de excavación, las paradas sean profundas. Esto significa también menor flexibilidad para tramificar con diferentes Contratistas por la existencia de la tuneladora.

**Combinación 2:** ejecución de paradas mediante Cut&Cover y el resto de los túneles mediante NATM de 2 y 3 carriles. De igual forma exige que, en base a la cobertera mínima de entre 1,5-2 veces el diámetro/anchura de excavación, las paradas sean profundas. Se pueden generar diferentes frentes de ataque desde las paradas. Es decir, desde cada parada existiría la posibilidad de generar dos equipos diferenciados para que ejecuten túnel hacia ambos costados de la parada.

**Combinación 3:** ejecución del trazado completo mediante Cut&Cover, incluidas las paradas. Esta alternativa tiene como principal ventaja la posibilidad de implementar todos los equipos en superficie que se estimen convenientes o posibles, por lo que en función de los equipos podrá ejecutarse en mayor o menor plazo. Esto implica una gran facilidad para tramificar con diferentes Contratistas la ejecución, según se considere o sea necesario.

En cuanto a las salidas de emergencia, su valoración no es por metro lineal, sino específica para cada combinación y por tanto se valora por unidad.

- Para la Combinación 1, las salidas de emergencia se ejecutarán mediante Cut&Cover profundo (profundidad de pantalla de 40,5 m) y galería peatonal de longitud aproximada de 4,5 m que conecta el túnel con el citado pozo, para las 3 salidas de emergencia en el tramo intermedio del trazado. Igualmente contará con 1 salida de emergencia ejecutada mediante Cut&Cover promedio (profundidad de pantalla de 20 m) para la salida al final del trazado.

- Para la Combinación 2, las salidas de emergencia se ejecutarán mediante Cut&Cover profundo (profundidad de pantalla de 33 m) y galería peatonal de longitud aproximada de 4,5 m que conecta el túnel con el citado pozo, para las 3 salidas de emergencia en el tramo intermedio del trazado. Igualmente contará con 1 salida de emergencia ejecutada mediante Cut&Cover promedio (profundidad de pantalla de 20 m) para la salida al final del trazado.
- Para la Combinación 3 se consideran las 4 salidas de emergencia en Cut&Cover somero (profundidad de pantalla de 12 m).

No se incluye una valoración económica de la expresión en superficie de estas salidas de emergencia, pudiendo ser todas ellas iguales y por ende no generando diferencias entre las combinaciones en estudio.

A continuación, se valoran las combinaciones explicadas debiendo tener presente que son valores de ejecución material:

Tramos		Combinación 1			Combinación 2			Combinación 3			
	Longitud (m)	Met. Constructivo	Macroprecio (€/ml)	Subtotal (€)	Met. Constructivo	Macroprecio (€/ml)	Subtotal (€)	Met. Constructivo	Macroprecio (€/ml)	Subtotal (€)	
Accesos 1 vía	318	C&C (somero)_1C	27.068,00 €	8.607.624,00 €	C&C (somero)_1C	27.068,00 €	8.607.624,00 €	C&C (somero)_1C	27.068,00 €	8.607.624,00 €	Alternativa única para todas las combinaciones por motivos de trazado.
Tramo 3 carriles	74	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.586.744,00 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.586.744,00 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.586.744,00 €	
Parada 1	116,07	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	
Andenes de Seguridad	193,29	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	6.756.645,24 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	6.756.645,24 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	6.756.645,24 €	
Parada 2	116,07	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	
Transición con descenso	60	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Tramo recto	37,57	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	1.137.506,89 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	1.137.506,89 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	1.137.506,89 €	
Tramo recto	241,61	Tuneladora 3C / C&C Pozo Tun.	107.873,43 €	26.063.299,05 €	NATM. 2C /C&C Pozo NATM	66.741,82 €	16.125.489,97 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	7.315.225,97 €	Ubicación pozo entrada Tuneladora 100 m (Comb.1)
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Parada 3	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	153.728,00 €	17.843.208,96 €	C&C (prof_NATM)_3C	122.056,00 €	14.167.039,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	
Andenes de Seguridad Profundos	157,81	Tuneladora 3C	47.214,71 €	7.450.953,42 €	NATM. 3C	25.944,23 €	4.094.258,67 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	5.516.406,36 €	
Giro Gaucho	38	Tuneladora 3C	47.214,71 €	1.794.158,99 €	NATM. 3C	25.944,23 €	985.880,68 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	1.328.328,00 €	
Tramo recto	231,45	Tuneladora 3C	47.214,71 €	10.927.844,68 €	NATM. 2C	18.879,77 €	4.369.723,84 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	7.007.611,65 €	
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Parada 4	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	153.728,00 €	17.843.208,96 €	C&C (prof_NATM)_3C	122.056,00 €	14.167.039,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	

Tramos		Combinación 1			Combinación 2			Combinación 3			
Tramo recto	429,55	Tuneladora 3C	47.214,71 €	20.281.078,77 €	NATM. 2C	18.879,77 €	8.109.807,20 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	13.005.485,35 €	
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Parada 5	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	153.728,00 €	17.843.208,96 €	C&C (prof_NATM)_3C	122.056,00 €	14.167.039,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Tramo recto	391	Tuneladora 3C	47.214,71 €	18.460.951,69 €	NATM. 2C	18.879,77 €	7.381.991,89 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	11.838.307,00 €	
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Parada 6	116,07	C&C (prof_Tun)_3C	153.728,00 €	17.843.208,96 €	C&C (prof_NATM)_3C	122.056,00 €	14.167.039,92 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	4.057.342,92 €	
Transición	60	Tuneladora 3C	47.214,71 €	2.832.882,61 €	NATM. 3C	25.944,23 €	1.556.653,70 €	C&C (somero)_3C	34.956,00 €	2.097.360,00 €	
Tramo recto	77,33	Tuneladora 3C / C&C Pozo Tun.	135.793,90 €	10.500.942,52 €	NATM. 2C / C&C Pozo NATM	105.580,34 €	8.164.527,97 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	2.341.320,41 €	Ubicación pozo salida Tuneladora 40 m (Comb.1)
Giro a 8 de Octubre	140	C&C (somero) 2C / C&C Pozo Tun	88.869,00 €	12.441.660,00 €	C&C (somero) 2C / C&C Pozo NATM	73.638,50 €	10.309.390,00 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	4.238.780,00 €	
Tramo recto a Tres Cruces y retorno	65,02	C&C (somero) 2C / C&C Pozo Tun	88.869,00 €	5.778.262,38 €	C&C (somero) 2C / C&C Pozo NATM	73.638,50 €	4.787.975,27 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	1.968.610,54 €	
Tramo recto a Tres Cruces y retorno	167,01	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	5.056.561,77 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	5.056.561,77 €	C&C (somero)_2C	30.277,00 €	5.056.561,77 €	Alternativa única para todas las combinaciones por motivos de trazado.
Salidas de Emergencia	-	Salidas Emergencia	-	6.791.326,80 €	Salidas Emergencia	-	5.604.892,17 €	Salidas Emergencia	-	1.818.861,24 €	
Instalaciones de Seguridad en Túneles	-	-	-	25.418.808,00 €	-	-	25.418.808,00 €	-	-	25.418.808,00 €	
Transporte de tierras o residuos inertes a vertedero	-	-	-	16.289.302,50 €	-	-	5.790.989,27 €	-	-	4.445.274,20 €	

Tramos		Combinación 1		Combinación 2		Combinación 3	
Total (m):	3.738,06	Total (€):	287.758.730,66 €	Total (€):	203.065.598,23 €	Total (€):	151.511.038,14 €

**Tabla 6-64 Valoración económica por tramos según las metodologías constructivas seleccionadas para las combinaciones establecidas**

(\*) Nótese que en la Combinación 1 se deben considerar los pozos de entrada y salida de la tuneladora, por lo que el precio unitario es proporcional a los metros que se ejecutan mediante tuneladora y mediante C&C en dichos tramos. Igualmente se aplica proporcionalidad en los precios unitarios en las transiciones entre C&C someros y profundos.

(\*\*) En el transporte de tierras a vertedero se estima un factor de esponjamiento del material excavado de 1,4 y una distancia de vertido de 20 km.

**Es importante señalar que los valores indicados en la tabla no son el presupuesto final de obra, dado que únicamente se ha considerado la obra civil necesaria para poder comparar las metodologías constructivas propuestas, además de las instalaciones de seguridad de túneles (incluido ventilación, iluminación normal, iluminación de seguridad e iluminación de emergencia del túnel). Conceptos como pueden ser los servicios afectados en cada una de las combinaciones junto con sus costes asociados, desvíos de tráfico, así como las instalaciones, arquitectura interior y exterior de las paradas/salidas de emergencia, pozos de bombeo necesarios por generarse puntos bajos, reposición de superficie de cada alternativa, instalaciones de obra, gastos generales, beneficio industrial (beneficio del Contratista), impuestos, entre otros, no se han incluido en este análisis, por lo que no se pueden tomar las cantidades indicadas en la tabla anterior como el presupuesto final de la obra.**

### 6.5.1.2. Costos obras en superficie

El objeto del presente capítulo es presentar las hipótesis y los parámetros utilizados para el cálculo de los metrajes. A continuación, se presenta el detalle para los ítems: movimiento de suelos, pavimentos y señalización para las diferentes alternativas. Los costos considerados corresponden a valores de referencia locales, basados en precios vigentes en Uruguay

#### 6.5.1.2.1 Movimientos de suelos

En la etapa de Ingeniería se calcula el volumen de movimiento de suelos geométricamente en las zonas de rampas de subida/bajada y túnel, las cuales corresponden únicamente a las alternativas A1-S, A2-S y A3-S.

A continuación, se describen las hipótesis consideradas para obtener el metraje preliminar.

#### a) Alternativas A1-S: BRT en superficie por 18 de Julio con 2 trincheras (Ejido y Fernández Crespo)

##### Sección a nivel

- No se consideró grandes movimientos de suelos.

##### Rampas de subida/bajada

- Ancho de rampa: 8,6m
- Altura de rampa: Variable de 0,0m - 5,5m
- Longitud de rampa: 55m
- No se consideró excavación en roca.

##### Zona de Túnel

- Los movimientos de suelos están considerados en el ítem de pasos inferiores.

#### b) Alternativa A2-S: BRT en superficie por Colonia y Mercedes con trincheras en Ejido y Fernández Crespo

##### Sección a nivel

- No se consideró grandes movimientos de suelos.

##### Rampas de subida/bajada

- Ancho de rampa: 5,1m
- Altura de rampa: Variable de 0,0m - 5,5m
- Longitud de rampa: 55m
- No se consideró excavación en roca.

##### Zona de Túnel

- Los movimientos de suelos están considerados en el ítem de pasos inferiores.

**c) Alternativa A3-S: BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia con trincheras en Ejido y Fernández Crespo**

Sección a nivel

- No se consideró grandes movimientos de suelos.

Rampas de subida/bajada

- Ancho de rampa: 5,1m
- Altura de rampa: Variable de 0,0m - 5,5m
- Longitud de rampa: 55m
- No se consideró excavación en roca.

Zona de Túnel

- Los movimientos de suelos están considerados en el ítem de soterramientos.

**6.5.1.2.2 Pavimentos**

**a) Consideraciones de cálculo**

Se enumeran las consideraciones utilizadas para el cálculo de rubros de pavimentos:

- Paquete estructural – Carriles BRT
  - Carpeta Asfáltica: 0,05m
  - Base Negra: 0,10m
  - Base granular CBR 80%:0,15m
  - Base granular CBR 60%:0,15m
  - Base granular CBR 40%:0,15m
- Paquete estructural – Calzadas de servicio para vehículos particulares
  - Carpeta Asfáltica: 0,05m
  - Base granular CBR 80%:0,15m
  - Base granular CBR 60%:0,15m
  - Base granular CBR 40%:0,15m
- Paquete estructural – Ciclovía
  - Carpeta Asfáltica: 0,05m
  - Base granular CBR 80%:0,15m
- Paquete estructural – Veredas
  - Hormigón: 0,07m
  - Base cementada: 0,10m
  - Base granular CBR 80%:0,15m
- Entre la capa de base granular CBR 80% y Base Negra se realiza riego de imprimación y adherencia convencional.

- Entre la capa de Base Negra y Carpeta Asfáltica se realiza riego de adherencia modificada.

#### 6.5.1.2.3 Señalización y defensas

- Señalización Horizontal:
  - Reflectividad Clase 1: Marcas reflectivas normales.
  - Se empleará pintura acrílica en caliente.
  - Las líneas de borde y eje tendrán 0,10m de ancho.
  - No se colocarán tachas reflectivas.
- Defensas:
  - New Jersey sobre los muros de contención

Amortiguadores de impacto cuando el transito se enfrenta a New Jersey

#### 6.5.1.2.4 Resumen costos de obras en superficie

A partir de los supuestos previamente detallados, se presentan a continuación los costos preliminares de las obras en superficie correspondientes a cada una de las alternativas, en dólares americanos.

**Tabla 6-65 Costos Alternativa – 18 de Julio en dos sentidos**

Descripción	Total (USD)
Rubros globales	1.055.184
Rubros de movimientos de suelos	337.582
Rubros de pavimento	5.838.349
Rubros de señalización y seguridad vial	961.022
Rubros de estructuras	700.128
Total	8.892.264

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-66 Costos Alternativa – 18 de Julio en un sentido**

Descripción	Total (USD)
Rubros globales	911.045
Rubros de movimientos de suelos	134.505
Rubros de pavimento	5.084.403
Rubros de señalización y seguridad vial	888.483
Rubros de estructuras	700.128
Total	7.718.564

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-67 Costos Alternativa – Colonia**

Descripción	Total (USD)
Rubros globales	537.183
Rubros de movimientos de suelos	98.153
Rubros de pavimento	2.874.000
Rubros de señalización y seguridad vial	466.604
Rubros de estructuras	696.960
Total	4.672.900

*Fuente: elaboración propia.*

**Tabla 6-68 Costos Alternativa – Mercedes**

Descripción	Total (USD)
Rubros globales	540.318
Rubros de movimientos de suelos	96.941
Rubros de pavimento	2.897.429
Rubros de señalización y seguridad vial	466.779
Rubros de estructuras	696.960
Total	4.698.427

*Fuente: elaboración propia.*

#### 6.5.1.3. Costos impactos sobre servicios

##### a) Interferencias con infraestructura de drenaje y red de agua potable

La cuantificación de costos de infraestructura asociada a drenaje y redes de agua potable se ha considerado únicamente para aquellas alternativas que contemplan obras a desnivel. La siguiente tabla presenta un resumen de los montos estimados en carácter preliminar para cada una de las alternativas analizadas en base al metraje presentado en el capítulo correspondiente.

**Tabla 6-69 Costos afectación infraestructura de drenaje y red de agua potable por alternativa**

Alternativa	Costo infraestructura de drenaje (USD)	Costo red de agua potable (USD)
A0 Túnel por 18 de Julio	3.481.870	197.635
A1-S 18 de Julio	553.455	32.352
A2-S Colonia y Mercedes	1.915.530	19.270
A3-S 18 de Julio y Colonia	1.431.685	69.952

*Fuente: elaboración propia.*

##### b) Interferencias eléctricas

Como criterio general, se define el siguiente método para cruces de cable de MT (aplicable a todos los cruces contabilizados en 4.2). Este método es la solución estándar para UTE en este

tipo de situaciones. Para AT se plantea un método similar a efectos del análisis económico, sin embargo, hay que considerar que cualquier trabajo en la red de AT se deberá consultar y planificar con la Gerencia de Transmisión de UTE, ya que puede requerir soluciones específicas para su tratamiento.

En cada cruce con canalización/cable existente se ejecutará:

- Primer empalme en el punto previo al cruce,
- Desvío del cable hasta la esquina inmediata siguiente, por la traza disponible,
- Cruce de la calzada, y
- Retorno al sitio de origen con segundo empalme posterior al cruce.

Se considera, en todos los casos, que los trabajos se realizarán en etapas, y cada etapa permitirá instalar el tramo nuevo de conductor en un sector ya afectado por la construcción del túnel. Por lo que se intervendrá una sola vez en cada línea existente.

Implicancias para el conteo de cada cruce contabilizado se estimó contando 250 mts de largo.

El precio estimado para MT es el siguiente:

- USD 140.000 para 6 kV y 22 kV
- USD 157.000 para 30 kV

El precio estimado para AT es el siguiente:

- USD 3.402.500 para 150kV

Nota específica A0b (tramo en mina).

Para A0b, con profundidad de referencia  $\approx 20$  m y capa superior  $\approx 10$  m sin intervenir, se considera que no habrá afectación de los cables existentes entre la calle Carlos Quijano y Acevedo Díaz, ya que el método constructivo para el túnel no implica afectación a las profundidades de instalación de estos. No obstante, accesos, ventilación y salidas de emergencia podrán generar cruces puntuales que se podrían resolver con el mismo método. No se analizaron estos casos.

### **c) Comparativo de alternativas y recomendación**

En todos los casos, se está considerando que las obras se podrán planificar de forma tal que se intervenga en cada cable una sola vez. Esto implica coordinar los tramos a intervenir con UTE y planificar los trabajos necesarios para desviar cada cable.

- A0a – Túnel 18 de Julio: Túnel continuo bajo 18 de Julio, estaciones subterráneas; alta complejidad constructiva e interacción subterránea extensa con servicios.  
Monto estimado inicial: USD 20.030.000
- A0b – Túnel 18 de Julio con tramo en mina: Igual a A0a, con tramo en mina entre Carlos Quijano y Acevedo Díaz para minimizar destapes; complejidad y riesgos similares, con cambios locales de método.  
Monto estimado inicial: USD 6.540.000

- A1-S – Desniveles en 18 de Julio: Solución en superficie con pasos a desnivel en nudos más demandados; reduce excavación extensa pero concentra interferencias en intersecciones.  
Monto estimado inicial: USD 2.250.000
- A2-S – Desniveles en Mercedes/Colonia: Corredor por calles paralelas con desniveles puntuales; menor interacción directa con troncales de 18 de Julio.  
Monto estimado inicial: USD 9.910.000
- A3-S – Desniveles en 18 de Julio y Colonia: Reparto de cargas entre ambas arterias con desniveles seleccionados; equilibrio entre interacción y factibilidad.  
Monto estimado inicial: USD 6.960.000

Considerar los montos como una aproximación al orden total de la intervención. A los montos calculados se le agrega un 15% de su valor.

No se analizaron interferencias con tendidos de BT o tensiones débiles; Antel, TV cable, fibra óptica, etc.

#### **6.5.1.4. Comparación de alternativas**

Considerando los supuestos establecidos en las secciones anteriores del presente capítulo, en esta sección se presenta una estimación de costos por alternativa, cuyo propósito es servir como insumo para la comparación entre ellas. Es importante señalar que se trata de costos en una etapa inicial, expresados a nivel de macroprecios, por lo que deben interpretarse como referencias preliminares y no como presupuestos definitivos.

Los principales supuestos adoptados se mantienen respecto a los descritos anteriormente por temática y se complementan con los siguientes:

- Los precios de túnel y pasos inferiores presentados anteriormente en euros fueron convertidos a dólares según la cotización de agosto de 2025.
- En la alternativa A0 se incluyen los costos de túnel y la afectación a infraestructura de drenajes, red de agua potable y eléctrica. Los costos asociados al túnel mantienen los supuestos presentados en la sección correspondiente; cabe recordar que se trata de valores de ejecución material que no han sido ajustados a precios locales, dado que corresponden a obras en España, cuyos costos resultan superiores a los valores de referencia en Uruguay. En consecuencia, los montos aquí considerados pueden interpretarse como conservadores y no constituyen un presupuesto final de obra.
- Para las restantes alternativas se consideran los costos de obras viales en superficie, en base a referencias locales presentadas previamente, además de la afectación a infraestructura de drenajes, red de agua potable y eléctrica.
- Para los pasos inferiores se tomó como referencia los valores por metro lineal del método constructivo Cut&Cover para profundidad de pantalla de 12 m).

**Se desglosa la información obrante en el “Capítulo 6:  
Construcción de matriz multivariable - 6.5.1.4:  
Comparación de alternativas”, que contiene las tablas  
“6.70: Macroprecios de obras civiles por alternativas” y  
“6.71: Calificación de alternativas respecto a costos de  
obras civiles preliminares”; en atención a que esta  
información ha sido declarada confidencial conforme a la  
Resolución N°21 de fecha 9 de febrero de 2026.**

### 6.5.2. Costo anual de operación y mantenimiento

El análisis presentado en esta sección corresponde a los costos de operación y mantenimiento asociados a la alternativa de túnel completo, dado que es la única que implicaría un cambio significativo respecto de la situación actual. En contraste, los costos vinculados a las obras en superficie no se apartarían de manera relevante de los mantenimientos que se realizan en la actualidad.

La construcción de un túnel urbano destinado a albergar infraestructura BRT en la Avenida 18 de Julio, principal eje estructurante del centro de Montevideo, implica no solo costos de obras civiles elevado, sino también un mantenimiento técnico y operativo a lo largo de toda su vida útil.

En entornos urbanos densos, estos costos tienden a incrementarse debido a la mayor concentración de sistemas electromecánicos, las restricciones operativas y la necesidad de garantizar altos niveles de seguridad y disponibilidad del servicio.

Los costos de mantenimiento de un túnel urbano varían según la complejidad de sus sistemas electromecánicos y las condiciones de operación.

El túnel BRT tendría costos más cercanos a un túnel vial (tipo autopista), debido a:

- Ventilación forzada
- Iluminación intensiva
- Sistemas de señalización y control
- Drenaje reforzado
- Pavimento especial para buses pesados

A continuación, se presenta una estimación referencial de los costos de mantenimiento anual de túnel urbano, basada en fuentes nacionales e internacionales.

- Baumgartner (2001) establece que el costo anual de mantenimiento de un túnel urbano se sitúa en torno al 1 % del costo de inversión inicial. Si se incluyen sistemas auxiliares, puede llegar al 2–5 % anual del CAPEX.
- Russell & Gilmore (1997) estiman que los costos estructurales básicos de mantenimiento (limpieza, inspección, pequeñas reparaciones) oscilan en torno a 150.000 USD/km/año, sin incluir sistemas electromecánicos.
- PIARC (2020), en relación con los sistemas de protección contra incendios, establece que los costos de operación y mantenimiento pueden alcanzar el 1 % del valor de los sistemas instalados, lo que, aplicado a un túnel con ventilación forzada y seguridad activa, representa entre 300.000 y 500.000 USD/km/años adicionales.
- Túnel del Somport (9,8 km): el costo de mantenimiento anual es de aproximadamente 4 millones EUR, es decir unos 408.000 EUR/km/año. Para 2025 se ha licitado un contrato para la conservación y explotación del túnel y sus accesos con un valor de 39,7 millones EUR con una duración de 3 años.

- Simposio de túneles de carretera (Zaragoza, 2015): los costes anuales de explotación y mantenimiento en España oscilan entre 130.000 y 300.000 EUR/km, según longitud e instalaciones del túnel.
- Según la guía de ITDP para BRT, los costes anuales promedio para un sistema con túnel son 1,4% del CAPEX.

En base a las diversas referencias, una forma práctica de estimar el coste anual de mantenimiento de un túnel urbano es aplicando un porcentaje sobre la inversión inicial. En términos generales, se puede considerar un 1 % anual para túneles con equipamiento convencional, y entre 2 % y 5 % anual en el caso de túneles más complejos, con alta carga tecnológica y exigencias en materia de seguridad.

Las principales componentes del mantenimiento se resumen en:

1. Infraestructura civil (15–25%)
  - a. Reparación de pavimentos, juntas, sellado de fisuras, revestimientos.
  - b. Revisión estructural periódica.
2. Sistemas electromecánicos (40–60%)
  - a. Ventilación forzada, iluminación, sistemas de detección de incendios, bombeo de aguas, tableros eléctricos.
  - b. Requieren mantenimiento trimestral o mensual en algunos casos.
3. Limpieza y operación diaria (10–20%)
  - a. Barrido, lavado de paredes, limpieza de drenajes, residuos, control de grafitis.
  - b. En túneles de uso intensivo, puede ser diario o semanal.
4. Seguridad y control (10–20%)
  - a. Cámaras, sistemas de detección de CO y NOx.
  - b. Incluye mantenimiento de software, sensores, y red de comunicaciones.
5. Mantenimiento correctivo y contingencias (10–15%)
  - a. Reparación de fallos imprevistos, recambios de equipos, soporte técnico.

Los factores que influyen en el incremento de costes son entre otros:

- Geología: Terrenos inestables aumentan costes de refuerzo 30%
- Tráfico
- Dimensiones
- Clima

En función de los costos de las obras civiles se estiman los costos de operación y mantenimiento adicionales a los de una obra en superficie para cada alternativa. Las alternativas con infraestructura más compleja, como el soterramiento completo en 18 de Julio y las alternativas con pasos inferiores, implican costos adicionales de operación y mantenimiento estimado en el entorno del 1 % anual del costo de las obras civiles.

Cabe destacar que el 1% contempla el mantenimiento de la infraestructura civil básica, componente común a todas las alternativas, por lo que no se incluye en la comparación. En este análisis se consideran únicamente los costos diferenciales asociados a cada alternativa. En el caso de las alternativas en superficie, los costos de operación y mantenimiento corresponden a

los habituales de las vías de Montevideo, por lo que no implica un costo de operación y mantenimiento diferenciado.

A continuación, se presenta una tabla con la estimación de los costos diferenciales de OPEX para cada alternativa.

**Tabla 6-72 Calificación de alternativas respecto a costos de operación y mantenimiento diferencial, en USD anuales.**

Alternativa	Costo de mantenimiento diferencial (USD/año)	
A0 Túnel por 18 de Julio	1.500.000	⬇️
A1 En superficie por 18 de Julio	Costos base compartidos por todas las alternativas.	⬆️
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	120.000	⬆️
A2 En superficie Colonia y Mercedes	Costos base compartidos por todas las alternativas.	⬆️
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	150.000	⬆️
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	Costos base compartidos por todas las alternativas.	⬆️
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	175.000	⬆️

*Fuente: elaboración propia.*

## 6.6. Análisis de robustez

Esta sección presenta el análisis de robustez de la priorización, concebido para evaluar cómo cambian los resultados cuando varía la importancia relativa asignada a cada área temática (variables técnicas, urbanas y ambientales, operativas, estratégicas y económicas). En lugar de fijar un único conjunto de ponderaciones, se exploró de manera exhaustiva el espacio de preferencias posibles entre las cinco áreas. Para ello se generaron todos los escenarios de ponderación en pasos de una unidad entera (0–100) cuya suma es 100, es decir, todas las combinaciones posibles de importancia entre áreas, lo que implica 4.598.126 combinaciones distintas. Cada escenario representa una visión alternativa de política pública acerca de cuánto peso otorgar a los aspectos técnicos, urbanos-ambientales, operativos, estratégicos y económicos, evitando que la conclusión dependa de una única elección de ponderadores y permitiendo medir la consistencia de los hallazgos en un abanico amplio de supuestos.

El valor de cada área temática se calculó como el promedio de sus variables, utilizando la misma escala común de cinco niveles empleada en la matriz comparativa —Muy malo (1), Malo (2), Regular (3), Bueno (4) y Muy bueno (5)—, donde las condiciones con menores impactos o mayores beneficios reciben calificaciones más altas. Esta unificación de criterios garantiza comparabilidad entre disciplinas y asegura que los puntajes por área reflejen de manera sintética el desempeño de cada alternativa en su dominio correspondiente.

Con las calificaciones por área establecidas para cada uno de los más de 4,5 millones de escenarios se computó, alternativa por alternativa, el promedio ponderado según los ponderadores definidos en ese escenario. La alternativa con el mayor promedio ponderado se consideró ganadora de ese escenario. Repitiendo el procedimiento para todas las combinaciones posibles se obtuvo la distribución de escenarios ganados por cada alternativa, que constituye la medida central de robustez: indica en qué proporción del espacio de preferencias razonables cada alternativa mantiene su superioridad relativa frente a las demás.

La figura siguiente sintetiza la matriz comparativa empleada en el estudio: en filas se listan las siete alternativas (A0 a A3-S) y en columnas las 15 variables agrupadas en cinco áreas: Constructivos, Urbanas y ambientales, Operativas, Estratégicas y Costos. Cada celda muestra la calificación de la alternativa en esa variable en la escala 1–5 (Muy malo → Muy bueno). El cuadro permite reconocer visualmente los perfiles de cada opción. Por ejemplo, A0 resalta en desempeño operativo, pero se penaliza en costos y plazo de obra, mientras las variantes en superficie tienden a invertir ese patrón.

**Figura 6-23 Matriz de valoración de variables por alternativa.**

Alternativa	Técnicas		Urbanas y ambientales				Operativas				Estratégicas			Costos	
	Riesgos constructivos	Requerimientos constructivos	Impacto durante obras	Impacto durante operación	Integración urbana	Impacto en servicios	Velocidad operativa	Regularidad	Afectación a otros usuarios	Robustez ante interferencias	Plazo de obra	Interferencia con eventos urbanos	Flexibilidad de crecimiento	Costo de inversión	Costo de mantenimiento
A0 Túnel por 18 de Julio	1	1	1	5	5	1	5	5	5	5	1	5	5	1	1
A1 En superficie por 18 de Julio	5	5	5	1	3	5	1	1	2	1	5	1	1	5	5
A1 En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	5	2	3	1	3	5	1	2	2	1	2	1	1	5	5
A2 En superficie Colonia y Mercedes	5	5	5	1	1	5	2	3	2	3	5	4	3	5	5
A2 En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	4	2	2	2	1	5	3	3	2	3	4	4	3	5	5
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	5	5	5	1	2	5	2	3	2	3	5	2	3	5	5
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	4	2	2	1	2	4	3	3	2	3	3	2	3	5	5

Fuente: elaboración propia.

A partir de los valores de cada variable para cada una de las alternativas, se calcula el promedio simple dentro de cada área. Los resultados se muestran en la figura siguiente. Es importante notar que al calcular el promedio simple se impone que todas las variables dentro de las áreas tengan la misma importancia.

**Figura 6-24 Matriz de promedios de cada área por alternativa.**

Promedio simple	Técnicas	Urbanas y ambientales	Operativas	Estratégicas	Costos
A0 Túnel por 18 de Julio	1.00	3.00	5.00	3.67	1.00
A1 En superficie por 18 de Julio	5.00	3.50	1.25	2.33	5.00
A1 En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	3.50	3.00	1.50	1.33	5.00
A2 En superficie Colonia y Mercedes	5.00	3.00	2.50	4.00	5.00
A2 En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	3.00	2.50	2.75	3.67	5.00
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	5.00	3.25	2.50	3.33	5.00
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	3.00	2.25	2.75	2.67	5.00

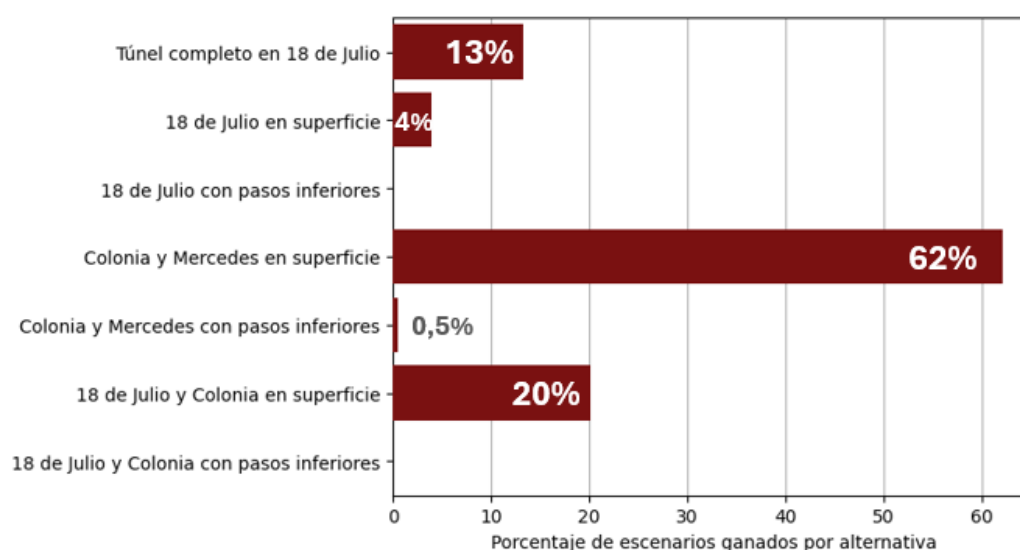
Fuente: elaboración propia.

La figura siguiente resume la distribución de escenarios ganados en el análisis de robustez: para cada combinación posible de ponderaciones entre las cinco áreas temáticas, se grafica qué porcentaje de escenarios gana cada alternativa. El resultado muestra un liderazgo de la opción Colonia y Mercedes en superficie, que concentra el 62% de los escenarios. Le siguen 18 de Julio y Colonia en superficie (20%) y el túnel completo por 18 de Julio con (13%), mientras que 18 de

Julio en superficie alcanza un porcentaje menor (4%). Apenas un 0,5% de los escenarios muestran ganadora a la alternativa de Colonia y Mercedes con pasos inferiores. En conjunto, esto indica que, dentro del espacio completo de preferencias consideradas, las soluciones íntegramente en superficie dominan la mayor parte de las configuraciones de pesos.

La conclusión más relevante es que las alternativas con pasos inferiores —ya sea en 18 de Julio, en Colonia/Mercedes o combinando 18 de Julio y Colonia— se muestran como ganadoras en un conjunto muy reducido de escenarios. Este patrón sugiere que los beneficios que aportan los pasos inferiores no alcanzan a compensar sus desventajas relativas (constructivas, de plazo y costo) frente a las alternativas puramente en superficie o al túnel completo, cuando se evalúa de manera integral y con pesos cambiantes entre áreas.

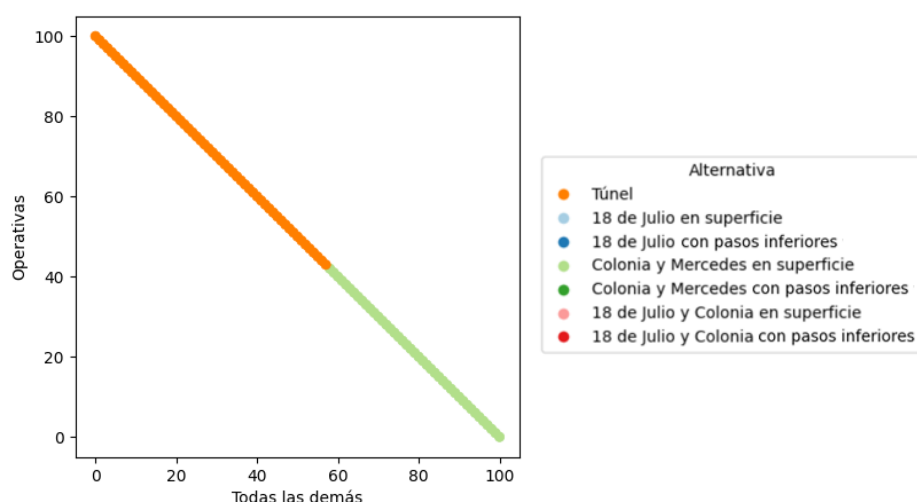
**Figura 6-25 Porcentajes de escenarios ganados por alternativa.**



*Fuente: elaboración propia.*

La figura siguiente muestra un corte del espacio de ponderadores donde fijamos el peso de Operativas (eje vertical) y agrupamos todas las demás áreas en 100 – la ponderación asignada a Operativas (eje horizontal). En cada punto entero de la diagonal evaluamos todas las formas posibles de repartir ese peso restante entre las otras cuatro áreas y contamos en qué proporción de esos escenarios gana cada alternativa. El color del tramo no indica que una opción gane siempre, sino que es dominante en el sentido de concentrar el mayor porcentaje de escenarios ganados bajo la restricción Operativas = x. Con esta lectura, se observa que cuando el énfasis operativo es bajo o moderado (hasta 43%), la alternativa Colonia y Mercedes en superficie es la que gana en la mayor parte de los casos; en cambio, a partir de ponderaciones operativas superiores a 43% el túnel pasa a ser la alternativa dominante, es decir, la que gana la mayor fracción de escenarios dentro de ese corte.

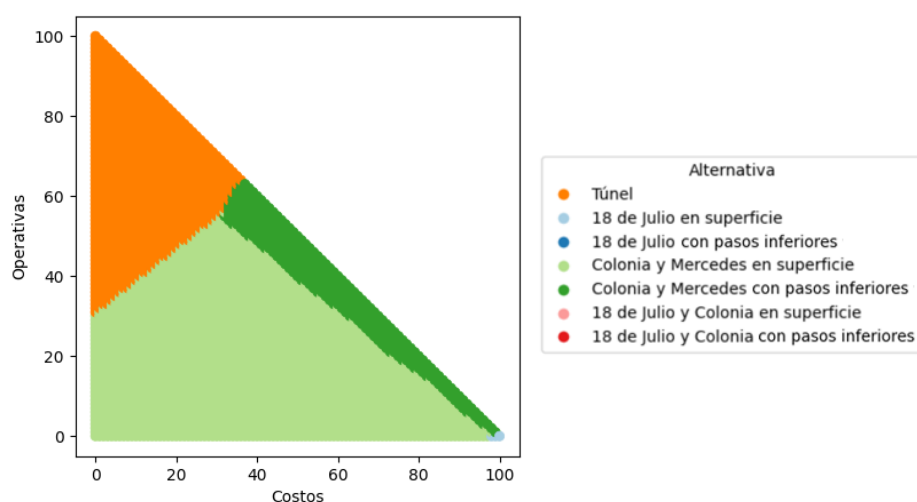
**Figura 6-26 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas.**



*Fuente: elaboración propia.*

La figura siguiente extiende el análisis de robustez a dos ponderadores a la vez. Cada punto dentro del triángulo representa una pareja de pesos (Costos, Operativas) cuya suma no supera 100; el resto ( $100 - \text{Costos} - \text{Operativas}$ ) se reparte entre las otras tres áreas. Para cada punto fijo, se exploran todas las formas enteras posibles de distribuir ese resto y se cuenta en qué proporción de esos escenarios gana cada alternativa. Nuevamente, el color en cada zona no implica que una opción gane siempre, sino que indica la alternativa dominante.

**Figura 6-27 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas y de costos.**

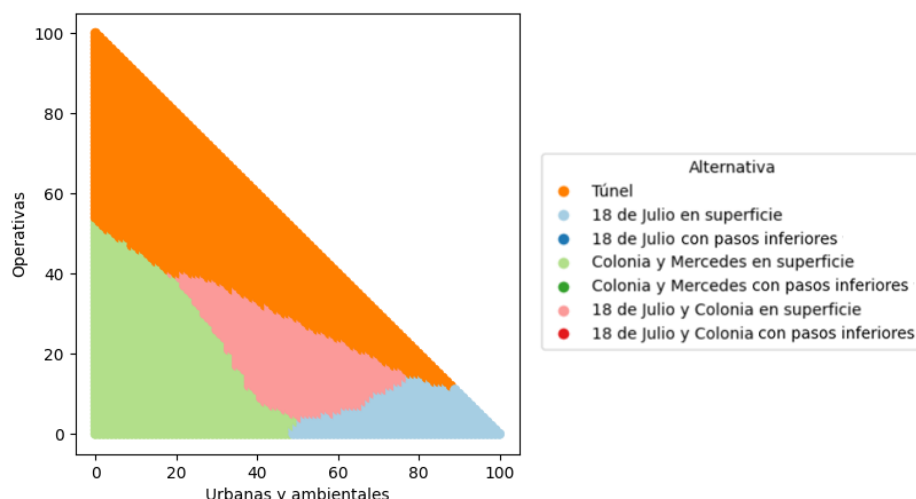


*Fuente: elaboración propia.*

La lectura del mapa sugiere que cuando la variable Costos tiene peso medio/alto domina Colonia y Mercedes en superficie (área verde claro). Cuando Operativas pesa mucho y Costos es bajo, pasa a dominar el Túnel (área anaranjada). Aparece una superficie reducida donde la suma de Operativas y Costos es próxima a 100 en la que domina Colonia y Mercedes con pasos inferiores (área verde oscuro), lo que sugiere que con énfasis prácticamente nulo en las demás áreas esta alternativa puede imponerse.

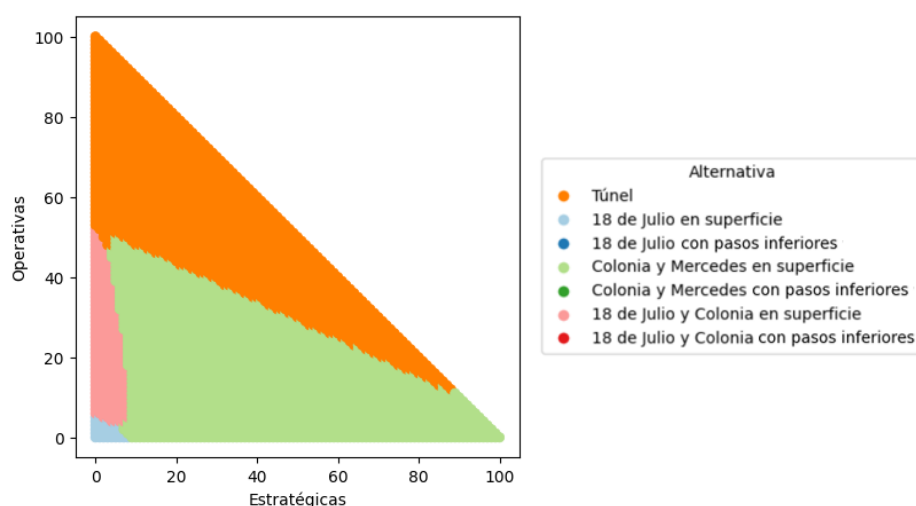
En los planos de ponderación Operativas–Urbanas y ambientales y Operativas–Estratégicas se observa que, a medida que aumenta el peso relativo de Urbanas y ambientales o de Estratégicas, la región de dominancia del Túnel se expande hacia valores más bajos de Operativas. Esto sugiere que el buen desempeño del Túnel (área anaranjada) en integración urbana y en atributos estratégicos (plazos, interferencias, flexibilidad futura) compensa parcialmente la necesidad de un énfasis operativo elevado: cuando la política prioriza fuertemente estas dos dimensiones, el Túnel se mantiene competitivo aun con niveles operativos moderados.

**Figura 6-28 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas y urbanas y ambientales.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 6-29 Alternativa dominante en función de ponderación de variables operativas y de estratégicas.**



*Fuente: elaboración propia.*

El comportamiento contrasta con el plano Operativas–Costos. Allí, conforme aumenta el peso de Costos, la zona de dominancia del Túnel se retrae rápidamente hasta desaparecer en valores medios/altos de este criterio. El Túnel solo resulta dominante cuando Operativas es alto y Costos permanece bajo; fuera de ese entorno, las alternativas en superficie pasan a concentrar la mayor

**Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Informe final. CAF – Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Noviembre 2025.

proporción de escenarios ganados. En definitiva, Urbanas y ambientales y Estratégicas actúan como criterios complementarios que apalancan la competitividad del Túnel, mientras Costos funciona como criterio restrictivo que limita su preferencia y favorece robustamente a las opciones en superficie.

La comparación de escenarios muestra que cada alternativa completamente en superficie se vuelve dominante bajo configuraciones de ponderación específicas. La alternativa A1 resulta preferida cuando las variables urbanas y ambientales adquieren un peso destacado y las características operativas tienen una incidencia relativamente baja, favoreciendo soluciones de menor intervención física y mayor integración con el entorno. La alternativa A3 tiende a imponerse en escenarios donde la ponderación de los criterios urbanos y ambientales se aproxima al 50 % y las variables operativas rondan el 20 %, siempre que la ponderación de los aspectos estratégicos se mantenga reducida. Por su parte, A2 es la que alcanza la mayor cantidad de escenarios favorables, ocupando prácticamente todo el espectro restante de combinaciones de ponderación y mostrando el desempeño más equilibrado entre los distintos criterios evaluados.

Es importante destacar que se trata de un ejercicio teórico, concebido para clarificar el problema y hacer explícitas las relaciones entre las variables y áreas evaluadas, como insumo para la deliberación. Este análisis no reemplaza la ponderación que cada tomador de decisiones defina según sus objetivos y restricciones; solo la vuelve más transparente y trazable.

## 7. Conclusiones

La presente consultoría se orientó a identificar y caracterizar, desde una perspectiva multidisciplinaria, las posibles alternativas de circulación para servicios troncales de alta capacidad entre Tres Cruces y Plaza Independencia. En este marco se evaluaron siete alternativas:

- A0: Soterramiento completo en 18 de Julio
- A1: BRT en superficie por 18 de Julio
- A1-S: BRT en superficie por 18 de Julio con pasos inferiores
- A2: BRT en superficie por Colonia y Mercedes
- A2-S: BRT en superficie por Colonia y Mercedes con pasos inferiores
- A3: BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia
- A3-S: BRT en superficie por 18 de Julio y Colonia con pasos inferiores

El análisis se estructuró en cinco dimensiones principales: técnicas, vinculadas a riesgos constructivos y requerimientos específicos de ingeniería; económicas, considerando costos de inversión y de operación y mantenimiento; urbanas y ambientales, referidas a los impactos en accesibilidad, movilidad, integración con la ciudad y servicios existentes; operativas, relacionadas con el desempeño del sistema, su regularidad, velocidad y robustez frente a eventos críticos; y, finalmente, temporales y estratégicas, donde se valoraron los plazos de ejecución, la interacción con dinámicas urbanas y la flexibilidad frente al crecimiento futuro de la demanda.

Si bien el enfoque principal de este estudio es la comparación de las alternativas de diseño fue necesario analizar las distintas metodologías de construcción de la opción de BRT en túnel por 18 de Julio ya que un conjunto importante de variables se ve influenciado por las técnicas utilizadas. Por este motivo, se presenta a continuación las conclusiones del estudio de metodologías constructivas del túnel que se encuentra en el “Anexo – Estudio de viabilidad de soterramiento BRT”. Luego de esta sección se presentan las conclusiones de la valoración de las alternativas.

### 7.1. Metodologías constructivas para el túnel

Como síntesis general, el estudio concluye que las tres alternativas analizadas (tuneladora, NATM y Cut & Cover) resultan técnicamente viables, siempre que se logre reducir la incertidumbre existente en esta etapa preliminar. Cada opción presenta ventajas particulares según las variables evaluadas, aunque el análisis no abarca aún aspectos operativos, de mantenimiento ni el diseño detallado de estaciones o flujos de pasajeros.

Asimismo, se destaca la necesidad de realizar una campaña geotécnica exhaustiva que permita caracterizar con precisión las condiciones del subsuelo a lo largo del corredor. Dicha información es esencial para validar las hipótesis adoptadas en el estudio y ajustar, si fuera necesario, las metodologías constructivas y los costos estimados. La etapa actual, por tanto, tiene un carácter exploratorio y orientador, cuyo propósito principal es servir de base para la toma de decisiones en fases posteriores.

Finalmente, entre las metodologías analizadas, el informe identifica como más adecuadas las combinaciones Cut & Cover (Combinación 3) y C&C + NATM (Combinación 2), siendo la primera la más favorable en términos de costo y plazo. Esta preferencia se fundamenta en su simplicidad constructiva, disponibilidad tecnológica y posibilidad de ejecución por tramos, lo que aporta flexibilidad y eficiencia. No obstante, se advierte que su implementación implicará interferencias significativas en superficie, por lo que requerirá una planificación cuidadosa y medidas de mitigación específicas durante la construcción.

## **7.2. Valoración de las alternativas analizadas**

Además de los aspectos constructivos, el presente trabajo aborda la evaluación de las alternativas en diversas áreas temáticas.

Durante la fase constructiva, los impactos ambientales están relacionados con el volumen de excavación y la extensión de los frentes de obra. Las alternativas con pasos inferiores, en particular la A0, concentran los niveles más elevados de ruido, vibraciones, polvo y afectación a los servicios y vías de circulación, alcanzando una clasificación de impacto negativo alto. Las variantes con pasos inferiores (A1-S, A2-S y A3-S) reducen estos efectos al concentrar las obras en puntos específicos, mientras que las soluciones en superficie (A1, A2 y A3) se limitan a impactos negativos leves. En contrapartida, durante la fase operativa la alternativa A0 se distingue por su impacto ambiental muy positivo, al mejorar la calidad visual del entorno urbano y reducir significativamente los niveles de ruido ambiente. Las alternativas en superficie y los pasos inferiores presentan, en cambio, percepciones sociales más negativas por la modificación del paisaje urbano, compensadas parcialmente por reducciones leves en el nivel sonoro.

En relación con la integración urbana, la alternativa A0 presenta la mejor valoración, ya que libera superficie, amplía el espacio peatonal y mejora la conectividad. En contraste, las alternativas completamente en superficie y con pasos inferiores requieren una mayor ocupación del espacio público para el transporte colectivo. En particular, la A1 obtiene una calificación regular, mientras que las alternativas A2 y A3 desplazan el corredor hacia calles más angostas, resultando en valoraciones muy mala y mala, respectivamente.

En lo que refiere a interferencias con servicios, la necesidad de modificar las redes actuales aumenta a medida que lo hace la longitud de los pasos inferiores. La alternativa A0 presenta el mayor nivel de complejidad técnica, debido a su interacción con redes de saneamiento, redes de agua potable y tendidos eléctricos. Las variantes con pasos inferiores y en superficie prácticamente no presentan afecciones relevantes.

En el ámbito operativo, la alternativa A0 ofrece el mejor desempeño global. Al eliminar las interferencias semafóricas y reducir el tiempo total de circulación, alcanza los mejores niveles de velocidad operativa y regularidad del servicio. Las alternativas A2 y A3, que operan mediante corredores unidireccionales, presentan un rendimiento intermedio en los casos con pasos inferiores y malo en los casos en superficie, con regularidad adecuada. En cambio, la A1, con un corredor central bidireccional en superficie, es la más sensible a las demoras por señalización y a los conflictos con giros y cruces peatonales, obteniendo la calificación más baja en este aspecto.

En cuanto a la afectación a otros usuarios, la A0 se presenta como la alternativa más favorable. Al canalizar el transporte público a desnivel, evita interferencias con otros modos, mantiene la capacidad vial existente y genera un mayor espacio disponible en superficie.

En términos de robustez ante afectaciones operativas, la A0 si bien depende de accesos únicos y puede presentar limitaciones frente a emergencias o accidentes, cuenta con la posibilidad de trasladar temporalmente la operación a la superficie, garantizando la continuidad del servicio. Las A2 y A3 alcanzan una robustez regular gracias a la redundancia geográfica entre corredores paralelos, que permite desvíos y ajustes ante bloqueos o contingencias. En contraste, la A1 es la menos robusta, su configuración sobre 18 de julio restringe las maniobras de desvío y presenta mayor dificultad para restablecer la operación en caso de incidentes. Al margen de esta clasificación se debe notar que a nivel de maniobrabilidad de los biarticulados ninguna de las alternativas presentaría restricciones importantes a la hora de desviarse de los recorridos usuales.

Desde la perspectiva estratégica, los plazos de ejecución confirman la incidencia de la profundidad de obra. La alternativa A0 es la que tiene los plazos más largos alcanzando los 2,7 años de construcción. Las soluciones con pasos inferiores del BRT completamente por 18 de Julio y la de Colonia junto con 18 de Julio le siguen la extensión con 1,9 y 1,5 años, respectivamente. Finalmente, las alternativas en superficie tienen duraciones estimadas entre 0,6 y 0,9 años.

En cuanto a la compatibilidad con los eventos urbanos, la A0 presenta menos interrupciones, ya que su operación a desnivel evita interferencias con manifestaciones, o eventos culturales. Las alternativas que desplazan el corredor a Colonia y Mercedes conservan parcialmente esta condición, mientras que las soluciones en superficie sobre 18 de Julio presentan un mayor nivel de interferencia.

Finalmente, en términos económicos, las diferencias son significativas. El análisis de los costos de obra civil evidencia que la alternativa A0 implica los montos más altos, con valores comprendidos entre USD 205 y 369 millones, según el método constructivo adoptado. Las alternativas con pasos inferiores (A1-S, A2-S y A3-S) presentan inversiones intermedias, entre USD 26 y 41,5 millones, mientras que las soluciones en superficie se ubican en un rango significativamente menor, entre USD 8,9 y 12,0 millones.

Las diferencias en los costos de operación y mantenimiento (OPEX) mantienen la misma tendencia, el túnel requiere entre 1% y 2,5% anual del CAPEX en concepto de mantenimiento diferencial respecto de las obras viales convencionales, considerando únicamente los costos no incluidos en las rutinas habituales. En consecuencia, para las alternativas en superficie no se prevén costos adicionales de OPEX, mientras que para las soluciones con pasos inferiores se estima un mantenimiento equivalente al 1 % del valor de las obras civiles consideradas en el presente estudio. Con el objetivo de posibilitar una comparación integral entre las opciones, se desarrolló una matriz multivariable en la que cada especialista de las distintas disciplinas analizadas —técnicas, urbanas y ambientales, operativas, estratégicas y económicas— describe los impactos positivos y negativos de cada alternativa, así como su desempeño relativo frente a las demás. Este ejercicio busca priorizar las alternativas en función de su desempeño comparativo, sin constituir una evaluación definitiva de cada opción de manera aislada. Para

unificar criterios entre las distintas disciplinas, se adoptó una escala común que clasifica como más favorables aquellas condiciones que generan menores impactos o mayores beneficios dentro de la temática correspondiente.

A lo largo del informe se han ido analizando e incorporando los resultados de esta evaluación por cada temática, integrando los hallazgos específicos de cada área.

**Tabla 7-1 Evaluación multicriterio de las alternativas analizadas**

Alternativa	Riesgos constructivos	Requerimientos constructivos	Impacto ambiental durante obras	Impacto ambiental durante operación	Integración urbana	Impacto en servicios	Velocidad operativa	Regularidad	Afectación a otros usuarios	Robustez ante interrupciones	Plazo de obra	Interferencia con eventos urbanos	Flexibilidad de crecimiento	Costo de inversión	Costo de mantenimiento
A0 Túnel por 18 de Julio	⬇	⬇	⬇	⬆	⬆	⬇	⬆	⬆	⬆	⬆	⬇	⬆	⬆	⬇	⬇
A1 En superficie por 18 de Julio	⬆	⬆	⬆	⬇	—	⬆	⬇	⬇	⬇	⬇	⬆	⬇	—	⬆	⬆
A1-S En superficie por 18 de Julio (con pasos inferiores)	⬆	⬇	⬇	⬇	—	⬆	⬇	⬇	⬇	⬇	⬇	⬇	—	—	—
A2 En superficie Colonia y Mercedes	⬆	⬆	—	—	⬇	⬆	⬇	—	⬇	—	⬆	⬆	⬆	⬆	⬆
A2-S En superficie Colonia y Mercedes (con pasos inferiores)	⬆	⬇	⬇	—	⬇	—	—	—	⬇	—	⬆	⬆	⬆	⬇	⬇
A3 En superficie 18 de Julio y Colonia	⬆	⬆	—	⬇	⬇	⬆	⬇	—	⬇	—	⬆	⬇	⬆	⬆	⬆
A3-S En superficie 18 de Julio y Colonia (con pasos inferiores)	⬆	⬇	⬇	—	⬇	—	—	—	⬇	—	—	⬇	⬆	⬇	⬇

*Fuente: elaboración propia.*

Además, se llevó a cabo un análisis de robustez, con el objetivo de evaluar cómo varían los resultados cuando cambia la importancia relativa asignada a cada dimensión. Para ello se exploró de manera exhaustiva el espacio de ponderaciones posibles entre las cinco áreas, generando más de 4,5 millones de combinaciones distintas.

De la exploración de todo el espacio de ponderaciones surgen dos regímenes de preferencia bien definidos. Por un lado, cuando la política asigna alto peso a Operativas—y, en menor medida, a Integración y Estratégicas—con Costos bajos o moderados, la alternativa que efectivamente alcanza la dominancia es la del túnel completo por 18 de Julio. En estos cortes, su desempeño operativo y estratégico permite que sea competitivo incluso con niveles operativos no extremos si crece el énfasis en Integración o Estratégicas; a la inversa, a medida que Costos aumenta, la zona de dominancia del Túnel se contrae hasta desaparecer. Es importante subrayar que la única alternativa con pasos inferiores que gana en algunos escenarios es la de Colonia y Mercedes pero en una porción muy reducida de los casos (0,5%).

Estas conclusiones deben entenderse como un ejercicio teórico de apoyo a la decisión: no prescriben una única solución, sino que mapean los trade-offs y muestran dónde cada alternativa resulta más fuerte.



# ANEXO I

## ESTUDIO DE VIABILIDAD

### SOTERRAMIENTO BRT

**Agosto 2025**

Revisión	Fecha	Responsables elaboración	Responsable de aprobación	Comentarios
0	20/08/2025	AAS	ABP	Versión inicial
1				
2				
3				

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SOTERRADA: DESCRIPCIÓN DEL TRAZADO DE LA ALTERNATIVA SOTERRADA Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....</b>	<b>5</b>
<b>3. CONDICIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOTÉCNICA DISPONIBLE.....</b>	<b>8</b>
3.1. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS .....	12
3.1.1. SOLUCIÓN TÚNEL CUT&COVER.....	12
3.1.2. SOLUCIÓN TÚNEL EN MINA.....	12
<b>4. SECCIÓN TIPO: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ESPACIOS NECESARIOS PARA LA SECCIÓN TIPO DEL SOTERRAMIENTO.....</b>	<b>13</b>
4.1. CONDICIONANTES FUNCIONALES Y GEOMÉTRICOS.....	13
4.2. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS Y CONSTRUCTIVOS .....	14
4.3. DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN DEL TÚNEL .....	15
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS .....</b>	<b>19</b>
5.1. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.....	19
5.2. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS CONSTRUCTIVOS.....	20
5.2.1. MÉTODO BELGA O MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID (M.T.M.).....	20
5.2.2. MÉTODO ALEMÁN.....	24
5.2.3. NUEVO MÉTODO AUSTRIACO (N.A.T.M.).....	25
5.2.4. TUNELADORA .....	30
5.2.5. CUT & COVER.....	42
5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO Y SELECCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO .....	46
5.3.1. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS SELECCIONABLES.....	46
5.3.2. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS PROPUESTOS.....	46
<b>6. INSTALACIONES DE SEGURIDAD.....</b>	<b>50</b>
6.1. CARACTERIZACIÓN.....	50
6.2. DESCRIPCIÓN INSTALACIONES EN EL SOTERRAMIENTO .....	51
6.2.1. ACERAS .....	51
6.2.2. SALIDAS DE EMERGENCIA .....	51
6.2.3. DRENAJE DE LÍQUIDOS TÓXICOS.....	54
6.2.4. ILUMINACIÓN NORMAL .....	54
6.2.5. ILUMINACIÓN DE SEGURIDAD.....	54
6.2.6. ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA.....	54

6.2.7.	VENTILACIÓN.....	54
6.2.8.	SUMINISTRO ELÉCTRICO .....	54
6.2.9.	GENERADORES DE EMERGENCIA .....	55
6.2.10.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA (SAI) .....	55
6.2.11.	DETECTORES DE CO .....	55
6.2.12.	OPACÍMETROS.....	55
6.2.13.	CABLE PARA DETECCIÓN DE INCENDIOS.....	55
6.2.14.	PUESTOS DE EMERGENCIA.....	55
6.2.15.	SEÑALIZACIÓN SALIDAS Y EQUIPAMIENTOS DE EMERGENCIA.....	56
6.2.16.	SEÑALIZACIÓN SEGÚN NORMA 8.1 Y 8.2 IC (NORMA ESPAÑOLA) .....	56
6.2.17.	BARRERAS Y SEMÁFOROS EXTERIORES.....	56
6.2.18.	MEGAFONÍA .....	56
6.2.19.	RED DE HIDRANTES .....	57
6.2.20.	AFORADORES.....	57
6.2.21.	MENSAJERÍA DE EMERGENCIA POR CANALES DE RADIO PARA USUARIOS (CUANDO EXISTAN) .....	57
6.2.22.	CENTRO DE CONTROL .....	57
6.2.23.	CIRCUITO CERRADO DE TV .....	58
6.2.24.	SISTEMA INFORMÁTICO DE EXTRACCIÓN DE HUMOS, AUTOMÁTICO Y MANUAL58	
6.2.25.	DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES .....	58
6.2.26.	PANELES DE SEÑALIZACIÓN VARIABLE.....	59
6.2.27.	ESTIMACIÓN VALORACIÓN ECONÓMICA DE INSTALACIONES DE SEGURIDAD EN TÚNELES.....	59
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>

# Índice de Figuras

Figura 2-1. Planta Trazado (I) .....	6
Figura 2-2. Planta Trazado (II) .....	7
Figura 3-1. Corte esquemático Tramo 18 de Julio desde 8 de Octubre a Magallanes.....	9
Figura 3-2. Corte esquemático Tramo 18 de Julio desde Magallanes a Andes.....	9
Figura 3-3. Corte esquemático a lo largo de 8 de Octubre, desde Pte. Lorenzo Batle hasta Avenida 18 de Julio .....	9
Figura 3-4. Corte esquemático Avenida de Italia hasta 8 de Octubre y Avenida 18 de Julio.....	10
Figura 3-5. Corte esquemático Avenida de Italia entre Pte. Batle y Avelino Miranda, hasta el Shopping Tres Cruces .....	10
Figura 3-6. Corte esquemático cruce de Avenida 8 de Octubre y Avenida Luis Alberto de Herrera .....	10
Figura 3-7. Corte esquemático cruce de Avenida 8 de Octubre y Bulevar José Batle y Ordóñez.....	11
Figura 3-8. Corte esquemático cruce de Avenida de Italia y avenida Luis Alberto de Herrera ..	11
Figura 3-9. Corte esquemático cruce de Avenida de Italia y Bulevar José Batle y Ordóñez .....	11
Figura 3-10. Corte esquemático cruce de Avenida de Italia y Avenida Bolivia .....	11
Figura 4-1. Sección tipo 2 carriles. NATM .....	15
Figura 4-2. Sección tipo 2 carriles. Tunneladora. Diámetro de excavación $\varnothing=10,8$ m.....	16
Figura 4-3. Sección tipo 3 carriles. Tunneladora. Diámetro de excavación $\varnothing=14,55$ m.....	17
Figura 4-4. Sección tipo 2 carriles. NATM .....	17
Figura 4-5. Sección tipo 2 carriles. Cut&Cover. (Baja cobertera).....	18
Figura 4-6. Sección tipo 3 carriles. Cut&Cover (Baja cobertera).....	18
Figura 6-1. Sostenimiento provisional en bóveda y apuntalamiento de longarinas según el Método Belga.....	21
Figura 5-1. Fases constructivas habitualmente utilizadas en el Método Tradicional de Madrid	22
Figura 6-1. Encofrado y hormigonado de la bóveda .....	23
Figura 6-1. Destroza y ejecución de hastiales desfasados .....	23
Figura 5-2. Fases de excavación del Método Alemán. (López Jimeno, Carlos. (1997). Manual de túneles y obras subterráneas. Entorno Gráfico S.L).....	25
Figura 5-3. Ejemplos de excavación a sección completa o por fases.....	27
Figura 5-4. Fase de excavación en la sección de Avance .....	28
Figura 5-5. Fase de excavación en la sección de Destroza, primer hastial .....	29
Figura 5-6. Fase de excavación en la sección de Destroza, hastial opuesto .....	29
Figura 5-7. Fase de excavación de la contrabóveda.....	30
Figura 5-8. Sección longitudinal tunneladora EPB .....	35
Figura 6-1. Rueda de corte de tunneladora EPB túnel Atocha – Chamartín (Madrid).....	36
Figura 6-1. Escudo y tornillo sinfín de tunneladora EPB túnel Atocha – Chamartín (Madrid).....	37
Figura 6-1. Gatos hidráulicos de tunneladora EPB túnel Atocha – Chamartín (Madrid) .....	37
Figura 5-9. Presiones en el proceso de excavación mediante EPB .....	38
Figura 6-1. Ejemplo Back-up de tunneladora (I).....	41
Figura 6-1. Ejemplo Back-up de tunneladora (II).....	41
Figura 5-10. Ejecución de pantalla mediante hidrofresa .....	44
Figura 6-1. Vista ejecución de losa superior Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025.....	44

Figura 6-1. Situación definitiva ejecución mediante Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025 (I) .....	45
Figura 6-1. Situación definitiva ejecución mediante Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025 (II) .....	45
Figura 6-1. Esquema de salida de emergencia. Tunneladora .....	52
Figura 6-2. Esquema de salida de emergencia. NATM.....	52
Figura 6-3. Esquema de salida de emergencia. C&C (somero) .....	53
Figura 6-4. Ejemplo de algunas instalaciones de Seguridad en Túnele .....	59

## Índice de Fotografías

Fotografía 5-1. Área de instalaciones	31
---------------------------------------	----

## Índice de Tablas

Tabla 2-1 Tramificación Trazado	5
Tabla 5-1 Tipos de tunneladoras	31
Tabla 6-1 Salidas de Emergencia	53

## 1. Descripción de la alternativa soterrada: descripción del trazado de la alternativa soterrada y características básicas

El trazado de la alternativa soterrada inicia en Plaza de Independencia y dispone de dos accesos desde superficie mediante vías de 1 carril, para confluir y realizar el resto del trazado de forma paralela, alternando tramos de 2 y 3 carriles. Transita por la Avenida 18 de Julio girando en la parte final del trayecto hacia la Avenida 8 de Octubre hasta la llegada al intercambiador Tres Cruces.

El trazado dispone de 6 paradas intermedias de 116 m de longitud, además de tramos considerados como andenes de seguridad de diferentes longitudes, tramos de 2 y 3 carriles, sumando a estos, transiciones de 60 m de longitud entre los tramos de 2 y 3 carriles.

A continuación, se incluye una tabla con las longitudes parciales de cada tramo y la planta de trazado para mejor comprensión:

Tramos					
	Longitud (m)		Longitud (m)		Longitud (m)
Accesos 1 vía	318	Andenes de Seguridad Profundos	157,81	Tramo recto	391
Tramo 3 carriles	74	Giro Gaucho	38	Transición	60
Parada 1	116,07	Tramo recto	231,45	Parada 6	116,07
Andenes de Seguridad	193,29	Transición	60	Transición	60
Parada 2	116,07	Parada 4	116,07	Tramo recto	77,33
Transición con descenso	60	Transición	60	Giro a 8 de Octubre	140
Tramo recto	37,57	Tramo recto	429,55	Tramo recto a Tres Cruces y retorno	65,02
Tramo recto	241,61	Transición	60	Tramo recto a Tres Cruces y retorno	167,01
Transición	60	Parada 5	116,07	<b>Total (m):</b>	<b>3.738,06</b>
Parada 3	116,07	Transición	60		

*Tabla 1-1 Tramificación Trazado*

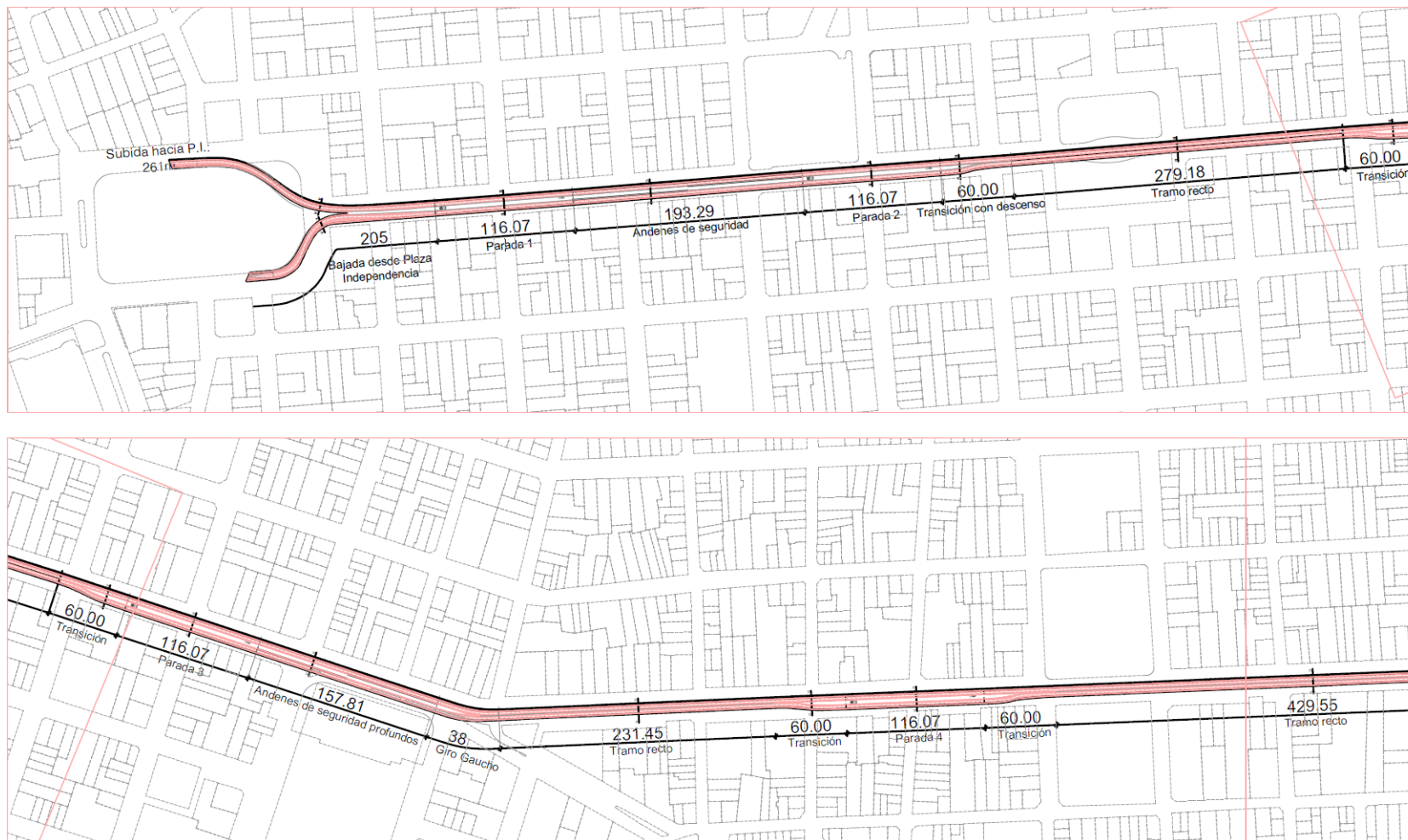


Figura 1-1. Planta Trazado (I)

## Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Agosto 2025.

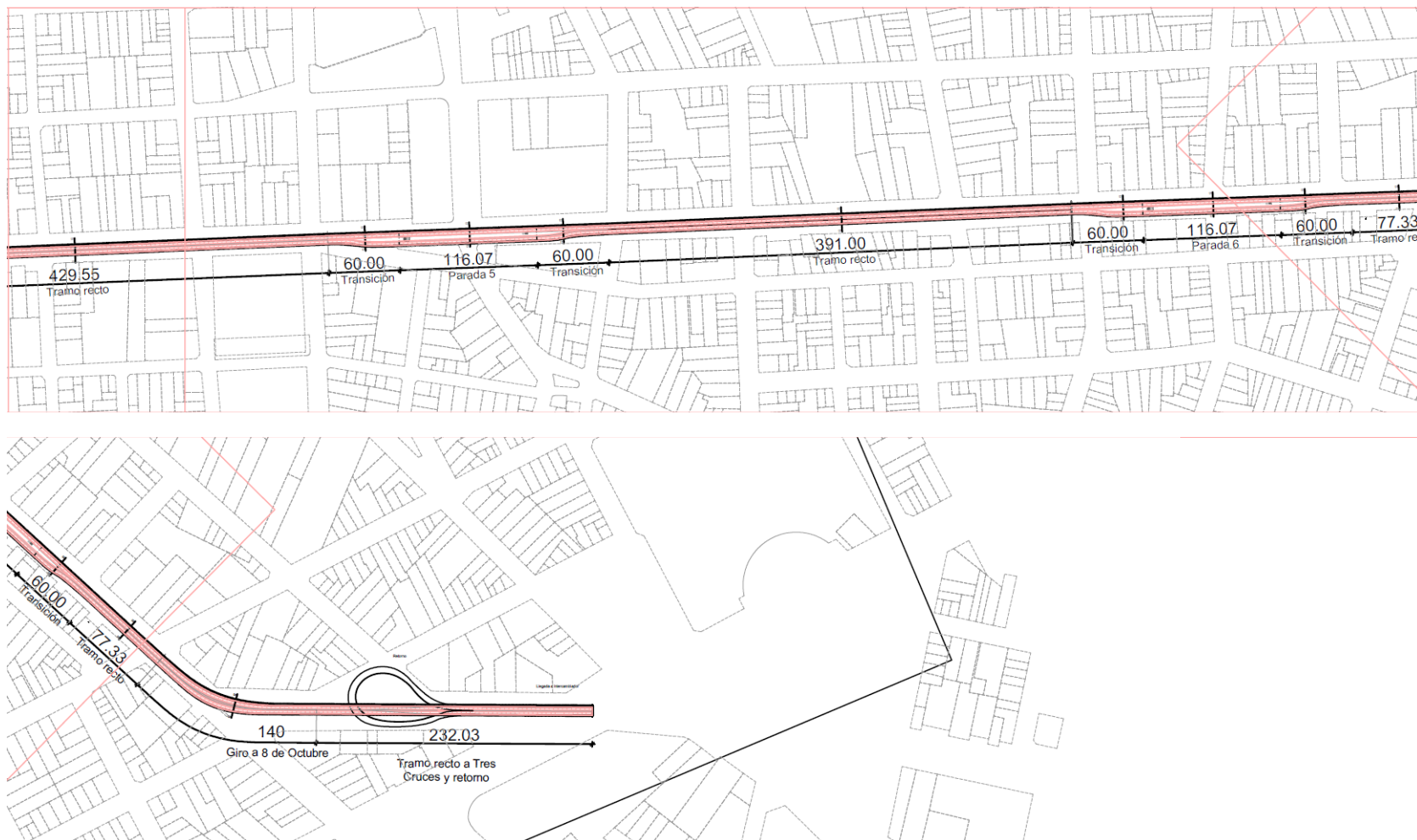


Figura 1-2. Planta Trazado (II)

### Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.

Agosto 2025.

## **2. Condiciones geológico-geotécnicas: análisis de la información geotécnica disponible**

Según se indica en el documento UR-T1279-P003, Capítulo 2 – Geotécnico, en el entorno geológico de la traza del proyecto existen tres formaciones geológicas:

- Una cobertera superficial de suelos correspondientes a la Formación Libertad (arcillas, limos y arenas).
- Areniscas cementadas de la Formación Fray Bentos, o
- Rocas ígneas o metamórficas del Basamento Cristalino de la Formación Montevideo (granito o gneis).

La profundidad del techo del sustrato rocoso es variable, encontrándose más profundo en los sectores próximos a Tres Cruces y 8 de Octubre y más superficial en las proximidades de la Plaza de Independencia.

El espesor de la cobertera de suelos es mayor en las zonas de Tres Cruces y Avenida Italia.

La presencia de napa freática o filtraciones no fue registrada en la mayoría de los sondeos, aunque en algunos sectores, como entre Convención y Julio Herrera y Obes, se reportaron filtraciones. Sin embargo, no se debería descartar totalmente la posibilidad de filtraciones asociadas a la interfase suelo-roca, en caso de que las excavaciones alcancen el techo de roca.

La Formación Libertad está constituida por arcillas y limos, eventualmente con presencia de arena, predominantemente de coloraciones marrones; suelen presentar a lo largo del perfil niveles de carbonato de calcio, en nódulos o diseminado en la matriz. Si bien estos materiales no se encuentran cementados, se pueden presentar con buena cohesión, encontrándose suelos de consistencia muy firmes a duros.

Las litologías de la Formación Fray Bentos corresponden a rocas del tipo Arenisca, muy finas, de matriz limosa, cementadas con carbonato de calcio, de color marrón claro o rosado. Se encuentran con consistencias duras a muy duras, en condición de rechazo en los ensayos de penetración, aunque suelen presentar un nivel superior meteorizado, con características de suelo limoso o arenoso fino, de no más de 1 metro de espesor.

El Basamento Cristalino de la formación Montevideo está constituido, en el tramo de estudio, por rocas metamórficas del tipo Gneis, de grano medio a grueso, de coloraciones grises; eventualmente suelen encontrarse recortadas por filones de rocas ígneas del tipo Aplitas y Pegmatitas, de colores rosados y blancos, ricas en Cuarzo, muy duras.

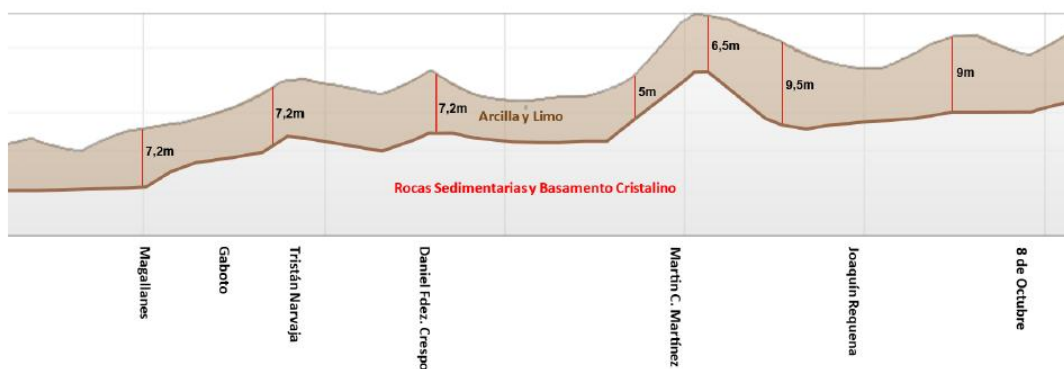


Figura 2-1. Corte esquemático Tramo 18 de Julio desde 8 de Octubre a Magallanes

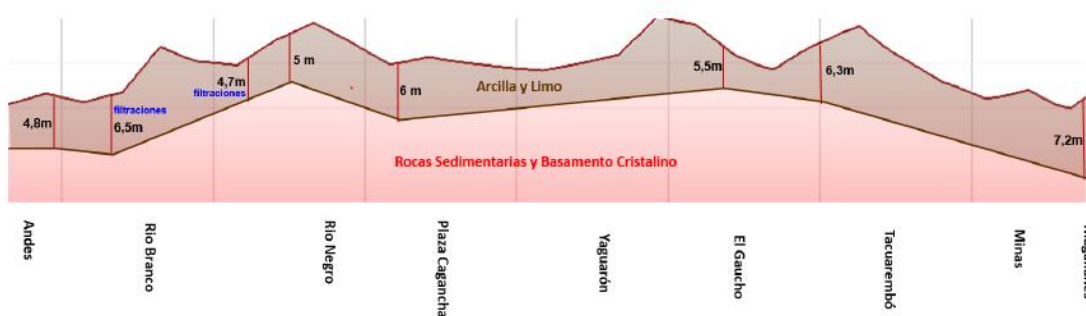


Figura 2-2. Corte esquemático Tramo 18 de Julio desde Magallanes a Andes

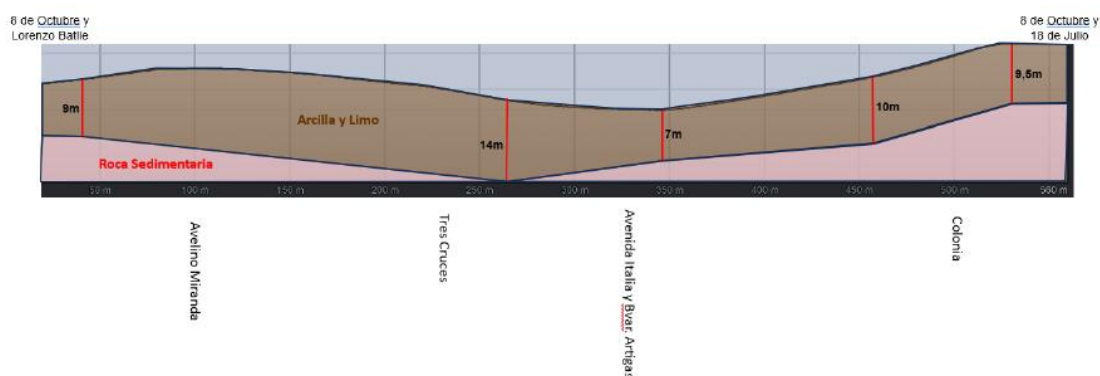


Figura 2-3. Corte esquemático a lo largo de 8 de Octubre, desde Pte. Lorenzo Batle hasta Avenida 18 de Julio

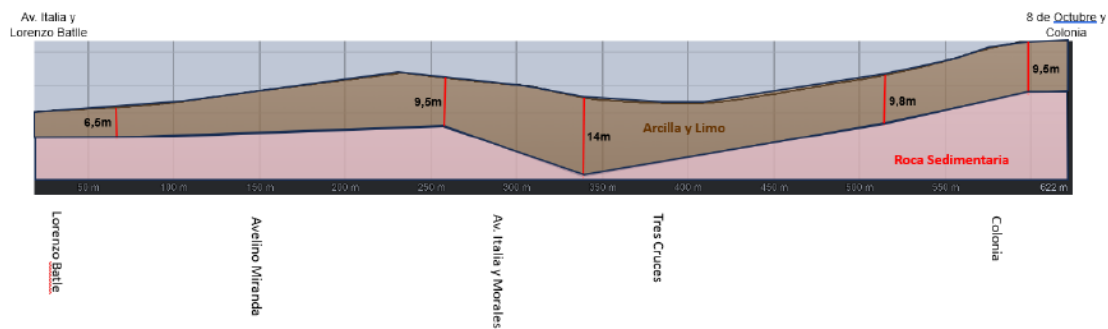


Figura 2-4. Corte esquemático Avenida de Italia hasta 8 de Octubre y Avenida 18 de Julio

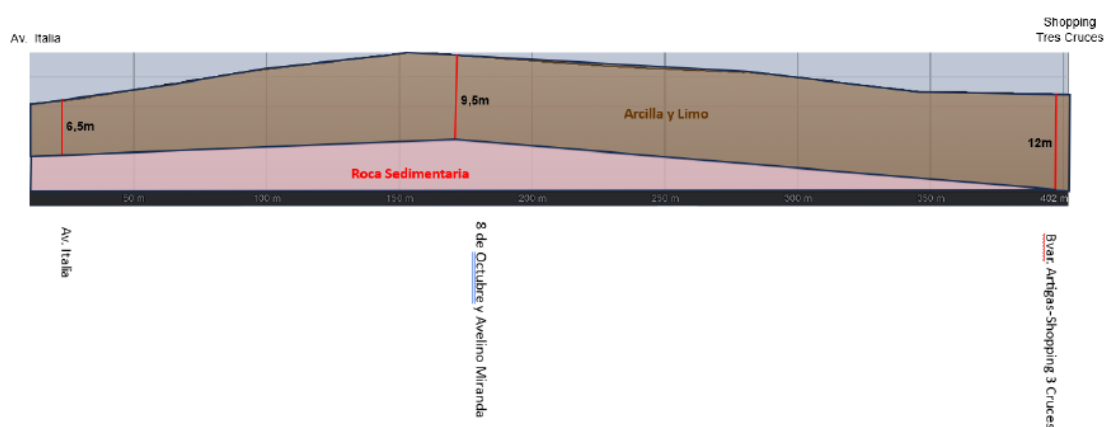


Figura 2-5. Corte esquemático Avenida de Italia entre Pte. Batle y Avelino Miranda, hasta el Shopping Tres Cruces

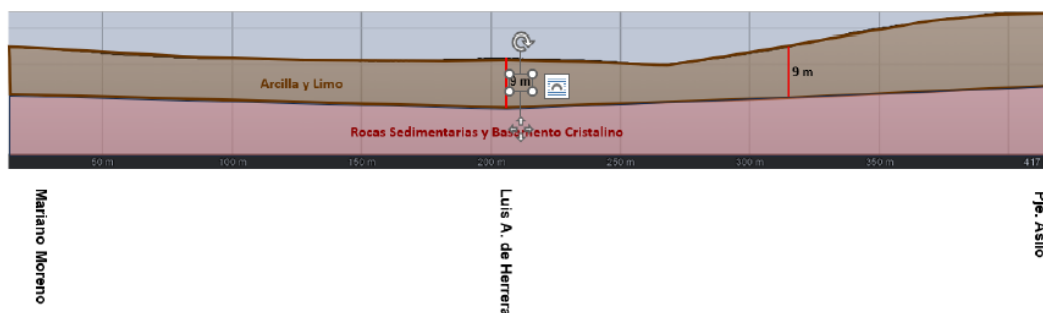


Figura 2-6. Corte esquemático cruce de Avenida 8 de Octubre y Avenida Luis Alberto de Herrera

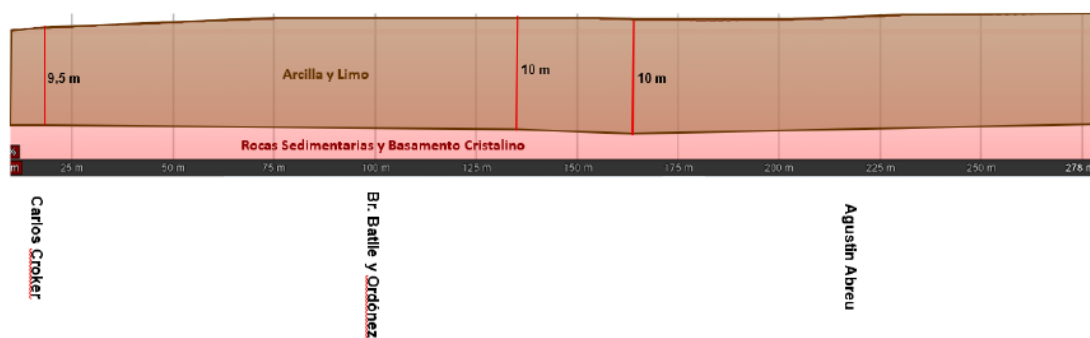


Figura 2-7. Corte esquemático cruce de Avenida 8 de Octubre y Bulevar José Batle y Ordóñez

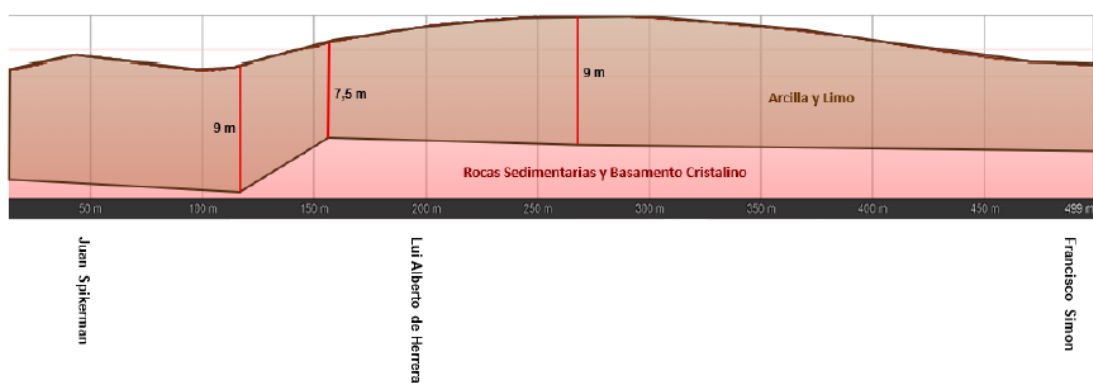


Figura 2-8. Corte esquemático cruce de Avenida de Italia y avenida Luis Alberto de Herrera

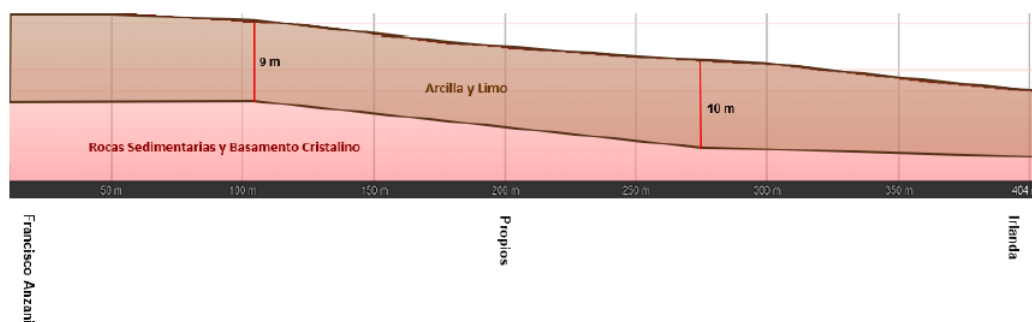


Figura 2-9. Corte esquemático cruce de Avenida de Italia y Bulevar José Batle y Ordóñez

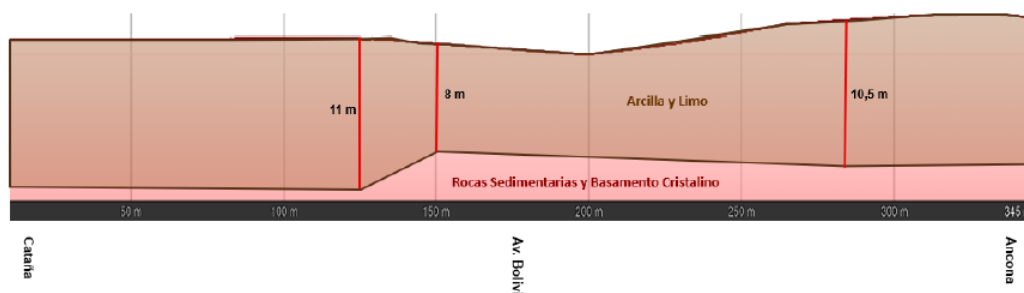


Figura 2-10. Corte esquemático cruce de Avenida de Italia y Avenida Bolivia

## **2.1. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS**

### **2.1.1. Solución túnel Cut&Cover**

Dado el espesor previsto para la cobertera de suelos, entre 7 y 14 m, y el ámbito urbano en el que se desarrollará esta actuación, se descarta la excavación a cielo abierto ataluzada, sin medidas de contención, ya que esta tendría una mayor ocupación y podría suponer afecciones importantes a las edificaciones colindantes.

Las estructuras de contención recibirán los empujes de los suelos superficiales y se empotrarán en el sustrato rocoso.

Si se confirma la ausencia de napa freática y la elevada resistencia de la roca de empotramiento, la solución de pantalla de pilotes puede ser ventajosa frente a la solución de pantalla continua.

Por el contrario, si la presencia de la napa freática fuese generalizada, deberían ejecutarse sistemas de contención continuos mediante pantallas continuas de hormigón. Debido a la presencia del sustrato rocoso y la necesidad de empotrar en él, estas pantallas deberían ejecutarse mediante hidrofresa.

La campaña geotécnica debe centrarse, por tanto, en caracterizar con detalle el espesor y las características del horizonte de suelos, puesto que su resistencia y deformabilidad condicionarán tanto el diseño de la pantalla como los movimientos inducidos sobre los edificios y otras infraestructuras próximas. De igual modo, es preciso localizar con exactitud la profundidad de la napa freática.

Será necesario un plan de monitoreo detallado para el control de movimientos en los edificios.

### **2.1.2. Solución Túnel en mina**

La presencia del sustrato rocoso entre 7 y 14 m de profundidad puede permitir que la totalidad de la sección del túnel en mina se excave en roca, si el trazado profundiza lo suficiente.

Tanto en las areniscas como en los granitos es geotécnicamente posible la excavación en túnel con métodos convencionales o tuneladora.

La campaña geotécnica debe estar orientada a reconocer el techo del sustrato rocoso, y el contacto entre las areniscas y el granito, caracterizando la resistencia, deformabilidad y excavabilidad de ambas unidades rocosas.

En el caso de excavación con tuneladora, la rasante del trazado debería ajustarse para tratar de no excavar en frentes mixtos suelo-roca, ya que este tipo de situaciones suele dificultar la excavación.

En cualquiera de los casos, excavación convencional o mediante TBM, es habitual y aconsejable considerar unos recubrimientos mínimos sobre clave del túnel, del orden de 1,5 a 2 veces el diámetro de la excavación/anchura de excavación, para minimizar las afecciones en superficie.

### **3. Sección tipo: características generales de los espacios necesarios para la sección tipo del soterramiento**

En la definición de las secciones tipo de los túneles, de forma general se deben considerar los siguientes aspectos:

#### **3.1. CONDICIONANTES FUNCIONALES Y GEOMÉTRICOS**

Se han analizado dos alternativas, por un lado, la sección funcional para 2 carriles de circulación y por otro para 3 carriles de circulación.

Los carriles considerados son de 3,5 m y la acera o pasillo de evacuación de 1,1 m, considerando dentro de este último una barandilla de seguridad de 10 cm. El ancho de las aceras desde su borde al intradós del revestimiento permite garantizar el tránsito de personas en caso de emergencia, así como la inclusión de los correspondientes elementos de drenaje e instalaciones en el interior del túnel que sean necesarias, por debajo del citado pasillo de evacuación.

Para la definición geométrica de la sección tipo, en función de si la alternativa finalmente seleccionada sea mediante túnel en mina, tuneladora o Cut&Cover, se han considerado los siguientes valores:

Común a todas las alternativas:

- Túnel de doble y triple vía.
- Anchura de carriles de 3,5 m.
- Altura de gálibo vehicular en punto más próximo al revestimiento de 4 m.
- Altura gálibo peatonal de 2,25 m.
- Anchura de gálibo peatonal y acera o pasillo de evacuación de 1,1 m (considerando incluida una barandilla de seguridad de 10 cm). Se consideran aceras en ambos costados de las secciones.
- Media caña para recogida de aguas de infiltración.
- Caz de drenaje de plataforma de 300 mm. (Se deberá dimensionar correctamente en niveles de desarrollo de proyecto posteriores al presente estudio de viabilidad).
- Colector de hormigón de 300 mm bajo el caz de drenaje. (Se deberá dimensionar correctamente en niveles de desarrollo de proyecto posteriores al presente estudio de viabilidad).
- Tolerancia de construcción mayor a 10 cm. Ajustable en Cut&Cover.
- Altura de pasillo de evacuación de 15 cm respecto de la rasante.
- La geometría de la sección de túnel prevista permite asegurar el espacio suficiente para un sistema unitario de conducción de las aguas de infiltración, escorrentía y vertidos, formado por dos drenajes laterales. Las aguas de escorrentía y vertidos se evacúan por medio de ambos colectores laterales, con arquetas de limpieza cada 25/50 m. Las conexiones entre los caces y las arquetas del colector se realizarán con tubo de PVC de diámetro mínimo de 110 mm. Las aguas de infiltración se conducen a un caz longitudinal

lateral y cada 25/50 m se evacúan a las arquetas laterales. Los caces embebidos en la acera o pasillo de evacuación pueden disponer de rejilla o trámex. Los pasillos de evacuación podrían disponer de pendiente transversal hacia la vía para garantizar la evacuación del agua. No se integra en el presente informe drenaje separativo para vertidos.

#### Específicas para la alternativa mediante NATM:

- Sostenimiento de espesor variable en función de los parámetros resistentes, obtenidos de las prospecciones geotécnicas correspondientes que se deberán llevar a cabo para la definición de los terrenos a atravesar. El sostenimiento consistirá en hormigón proyectado, armadura o fibras según su correspondiente cálculo, así como bulones y cerchas según la tramificación geotécnica definitiva. Todos estos aspectos deberán definirse en etapas posteriores del diseño.
- Revestimiento de hormigón de al menos 30 cm. Toda obra subterránea debe disponer de un revestimiento que no ejerza un papel estructural a corto plazo, pero que pueda asegurar la estabilidad de la obra a largo plazo ante una eventual degradación de las características mecánicas del terreno o de los elementos de sostenimiento.
- Tubo dren de trasdós para las infiltraciones que pueden provenir del terreno en caso de existir.
- Hormigón de limpieza en el apoyo de los hastiales del túnel de al menos 10 cm.

#### Específicas para la alternativa mediante tuneladora:

- Dovelas de al menos 40 cm para la sección considerada para 2 carriles y de 55 cm para la de 3 carriles. Estas dimensiones deberán definirse y/o confirmarse en etapas posteriores del diseño.
- Gap para inyección de mortero de 15 cm.

### **3.2. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS Y CONSTRUCTIVOS**

La elección del método constructivo, que depende a su vez de los condicionantes geotécnicos, determina en buena medida la geometría de cada sección tipo de túnel.

Esto ocurre especialmente en casos donde se utilicen máquinas tuneladoras, donde la sección será circular de radio único. En estos casos, se producen excavaciones bastante importantes por debajo de cota de rasante que no son útiles y deben rellenarse posteriormente con hormigones en masa.

En túneles ejecutados con métodos convencionales suele tenderse a una definición de la sección en forma de herradura, con bóveda curva de radio único o formada por varios radios que suele prolongarse hasta cota de rasante, definiendo así una sección que tiende a circular a excepción de la zona baja, en la que se define una solera con contrabóveda (en terrenos de mala calidad) o plana (en rocas sanas, generalmente con un índice de excavación con RMR mayor de 50).

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

Cuando el terreno atravesado presente peores condiciones geotécnicas se ejecutará una contrabóveda con geometría semicircular (excavación de túnel en suelos o excavación de túnel en roca, siempre que se justifique su necesidad estructural). En el caso del túnel de estudio, la sección se presenta sin contrabóveda, debido a que el terreno en el que se ejecutará el túnel será previsiblemente en roca sana.

Para el caso del método mediante Cut&Cover, si bien no impacta en la sección tipo, es igualmente importante considerar las propiedades reales del terreno y la ubicación del nivel freático, con el fin de definir correctamente la tipología de la maquinaria a utilizar, ya sea mediante pilotadora o pantalladora. Igualmente, lo anterior ayudará a definir si se deben ejecutar mediante con cuchara bivalva, mediante hidrofresa, trépanos u otros procedimientos, que en función de la profundidad de excavación deberán considerarse tolerancias de construcción aceptables para las tipologías de pantallas que se apliquen finalmente.

### 3.3. DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN DEL TÚNEL

Teniendo en cuenta todos los condicionantes anteriormente expuestos y, tal y como se puede ver en las siguientes figuras, se muestran secciones tipo del túnel en mina, mediante tuneladora y Cut&Cover para 2 y 3 carriles:

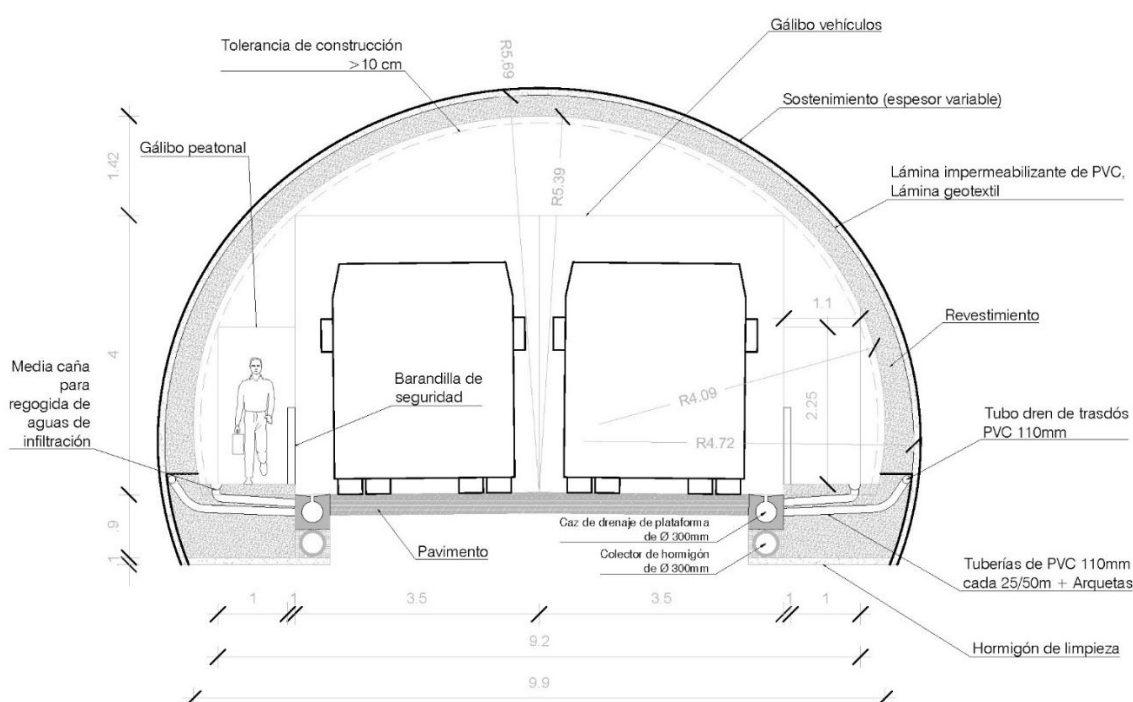


Figura 3-1. Sección tipo 2 carriles. NATM



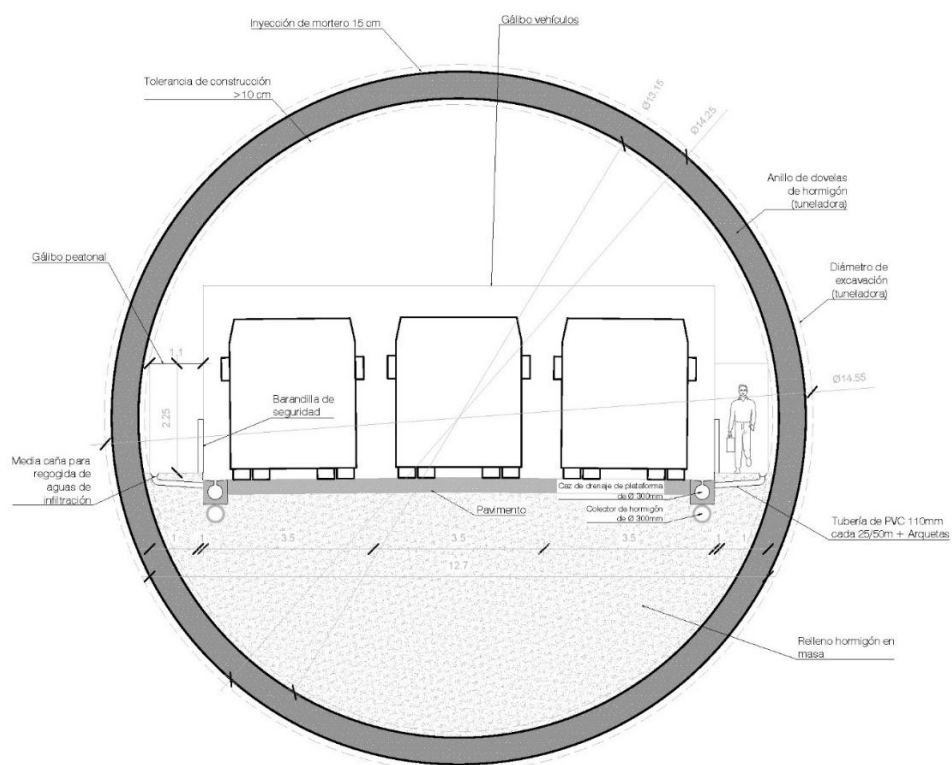


Figura 3-3. Sección tipo 3 carriles. Tuneladora. Diámetro de excavación  $\varnothing=14,55$  m

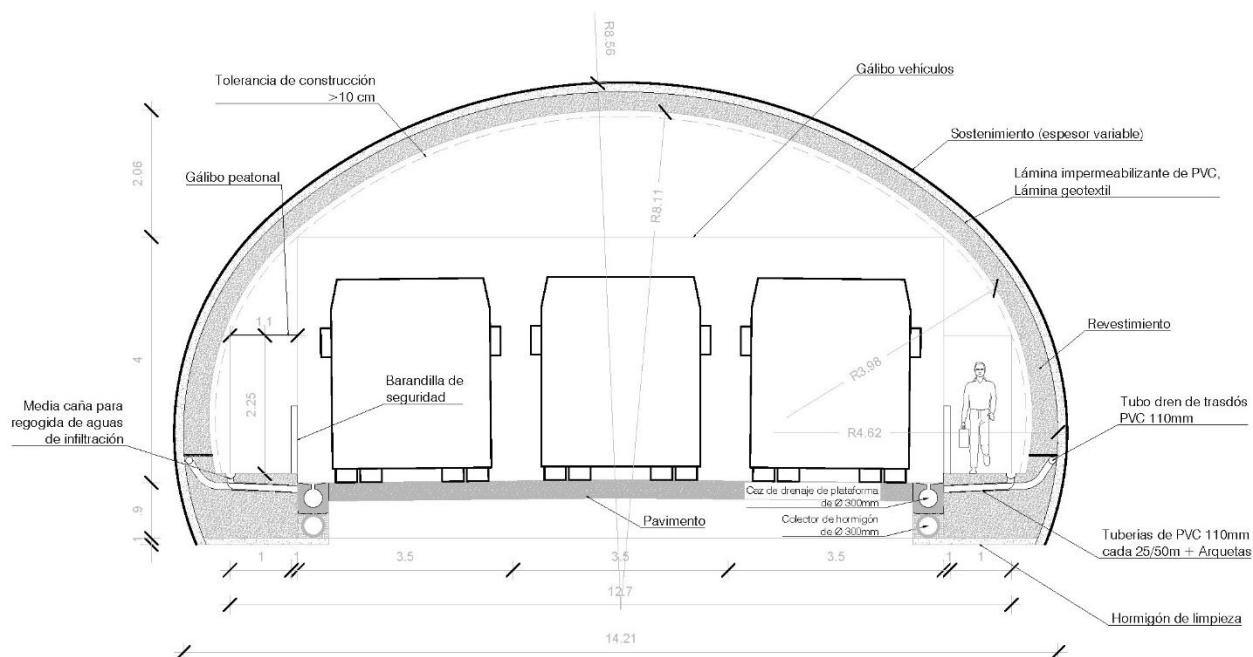


Figura 3-4. Sección tipo 2 carriles. NATM

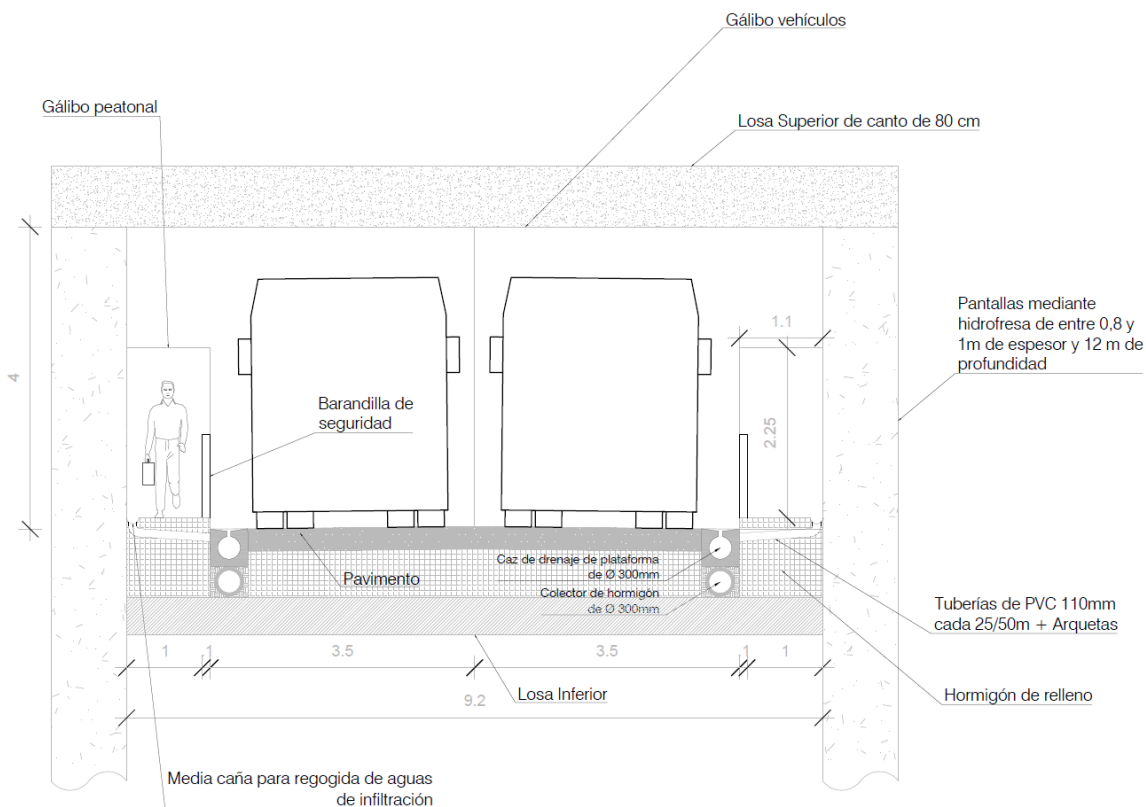


Figura 3-5. Sección tipo 2 carriles. Cut&Cover. (Baja cobertera)

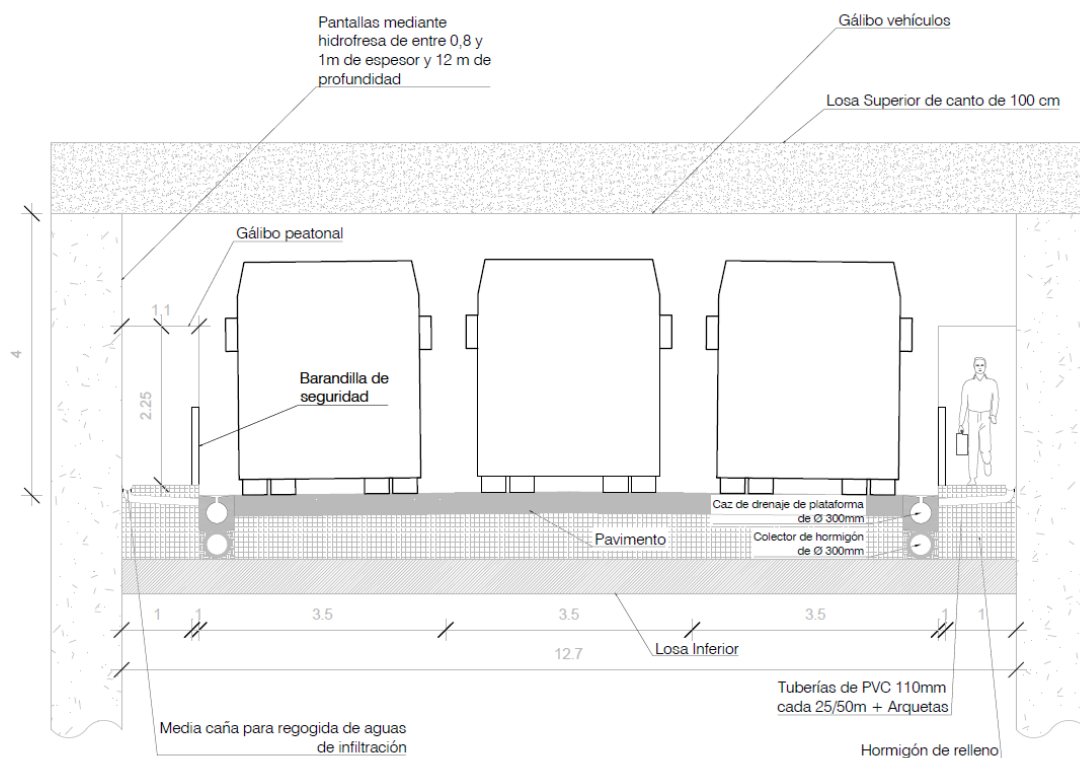


Figura 3-6. Sección tipo 3 carriles. Cut&Cover (Baja cobertera)

## 4. Descripción de los métodos constructivos

En este apartado se recogen los principales métodos de ejecución de túneles, justificándose los que se consideran más adecuados, por las características y condiciones de contorno anteriormente expuestas.

### 4.1. Métodos constructivos

Los métodos más comunes de ejecución de túneles son los siguientes:

Método Belga o Método tradicional de Madrid (M.T.M.): se trata de un método tradicional de ejecución a sección partida; avance y destroza, que se utiliza generalmente para la ejecución de túneles cortos excavados en suelos. Su aplicación óptima se consigue en terrenos cohesivos, formados principalmente por arcillas compactas, o arcillas con un cierto porcentaje de arenas. La excavación se realiza mediante el empleo de martillos picadores manuales.

La principal ventaja del método es que reduce las dimensiones del frente de excavación abierto, apoyado en un sistemático procedimiento de apuntalamiento y entibación, con objeto de evitar la relajación del terreno, minimizando con ello los riesgos de inestabilidad del frente. Como inconvenientes, cabe citar el requerimiento de personal altamente especializado para un correcto desempeño de esta metodología constructiva y los bajos rendimientos obtenidos.

Método Alemán: este método permite la construcción de túneles de grandes luces, debido a la ejecución sucesiva, primero de pequeñas galerías en los hastiales, posteriormente una galería en la clave y para finalizar se ejecutan los hombros. Posterior a esto se podrá excavar toda la zona central del túnel y se ejecutará la contrabóveda. Este método es apropiado igualmente para terrenos de pobres propiedades geomecánicas, siendo similar al Método Belga pero cambiando las fases de excavación y sostenimiento: hastiales, bóveda, destroza.

Al igual que en el Método Belga, el Método Alemán es apropiado para zonas urbanas con edificaciones o infraestructuras muy cercanas, con el objetivo de evitar afecciones a las mismas.

Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.): el empleo del Nuevo Método Austriaco de ejecución de túneles implica el hecho de permitir una relajación del estado tensional del terreno situado alrededor de la excavación, que lleva asociado un cierto desplazamiento del mismo, con el objetivo de poder emplear un sostenimiento relativamente ligero que permita un equilibrio final entre empujes - deformaciones que sea aceptable, sin que lleguen a producirse inestabilidades.

Este método resulta especialmente competitivo en la excavación de túneles en roca, donde exista la posibilidad de recurrir a la excavación secuencial de grandes frentes abiertos, habitualmente resueltos con dos fases, Avance y Destroza, para potenciar los rendimientos de los equipos de obra. Ofrece versatilidad para combinar o implementar distintos tratamientos especiales o de mejora del terreno.

En cualquiera de los tres métodos anteriores aplica el cierre de la sección del túnel mediante contrabóveda, debiéndose proyectar y calcular la contrabóveda en todos los casos de túneles en suelos.

Método de ejecución con tuneladora: esta metodología se concibió inicialmente con el objetivo de realizar la excavación del túnel al amparo de una estructura rígida y resistente que, introducida dentro del túnel en ejecución, proporcionase un área estable y segura en la zona del frente de trabajo.

Método Cut&Cover: es un método de construcción utilizado habitualmente para túneles superficiales donde se sostiene el empuje de los terrenos lateralmente mediante pantallas (continuas o discontinuas), se ejecuta la losa superior y se procede por último a excavar el terreno contenido entre la losa superior y las pantallas laterales (top-down).

## **4.2. Descripción de métodos constructivos**

### **4.2.1. Método Belga o Método tradicional de Madrid (M.T.M.)**

#### **4.2.1.1. Descripción del Método**

El método de excavación en mina tradicional de Madrid es un método manual que excava la sección en dos partes: avance y destroza. A diferencia del NATM, está basado en el principio de ejecutar pequeñas excavaciones de avance en clave que limitan mucho el frente abierto. Se comienza la excavación con una galería de avance que se va entibando y recreciendo para formar la bóveda, pero siempre con un desfase longitudinal por cada etapa de ensanche. De esta manera el frente abierto por cada plano de excavación es de reducidas dimensiones, confiriendo unas condiciones de estabilidad más favorables. La destroza se construye después del avance, con cierto decalaje, y con una división secuencial en bataches para no descalzar la bóveda.

Las secciones a las que da lugar este método son arcos con un cierto rebaje en el avance y que cuentan con un ensanche en forma de pata de elefante en el apoyo. La destroza está formada por hastiales, generalmente rectos que se suelen unir a una contrabóveda curva para cerrar la sección, logrando así una elevada eficiencia estructural.

El sostenimiento provisional o entibación perdida es siempre cuajada a base de puntales de madera, longarinas metálicas y tablas, mientras que el revestimiento definitivo es de hormigón en masa bombeado (o armado en casos excepcionales).

La excavación de este tipo de mina es un método cuya aplicación es ventajosa en el caso de excavaciones en suelos que pueden afectar a infraestructuras o estructuras adyacentes y que requieran limitar las ocupaciones en superficie de la obra. Se ha de comprobar que la cobertera de suelo sobre la clave del túnel sea suficiente (por lo menos del orden de un diámetro), así, los movimientos inducidos en superficie por la excavación estarán acotados en valores relativamente bajos, compatibles con las estructuras existentes. Esto dependerá de las condiciones específicas de cada caso y de la proximidad relativa entre los elementos.

Siempre resulta compatible dicha praxis con el planteamiento de tratamientos previos del terreno (micropilotes, inyecciones, jet grouting, etc.), de uso especialmente destinado a zonas de singularidad geotécnica o donde el riesgo de afección a edificios, infraestructuras o servicios deba ser mitigado.

Cuando la cobertera sobre el túnel es menor de un diámetro, los movimientos inducidos por la excavación crecen rápidamente y puede hacerse necesario recurrir a tratamientos de protección. Por debajo de medio diámetro de cobertera, la propia excavabilidad del túnel se puede ver comprometida, y los tratamientos para evitar movimientos suelen resultar muy intensos.

No obstante, el método tradicional está sometido a mayores incertidumbres que la excavación a cielo abierto, puesto que las condiciones del sustrato tan sólo son a priori conocidas con exactitud en los puntos investigados y en el momento de la investigación, siendo el resto de las condiciones geotécnicas extrapoladas e interpretadas a partir de estos datos.

Paralelamente al desarrollo de las obras subterráneas en entorno urbano, también han evolucionado los tratamientos de protección. Esta necesidad de tratamientos en determinadas condiciones supone una desventaja del procedimiento, puesto que requieren ocupaciones en superficie y habitualmente la ejecución de pozos para su materialización, lo que determina un incremento del coste de excavación del túnel.

Por otra parte, este método posee el inconveniente de que requiere un mayor número de mano de obra especializada que en el caso de la excavación mecanizada. Esta cualificación de la mano de obra es la única dificultad para la implementación eficaz de múltiples frentes de ataque de forma simultánea.

Un aspecto a destacar es su versatilidad, permitiendo su aplicación en tramos cortos, en entronques con secciones variables, en tramos de rasantes inclinadas, en zonas con incertidumbres, etc., resultando igualmente apropiado en el caso de cañones y galerías, complementado en caso necesario con los preceptivos tratamientos del terreno.

En este sistema de excavación, los frentes de avance no deben exceder los 5 m<sup>2</sup> para minimizar el riesgo de inestabilidades y evolución de subsidencias.



*Figura 4-1. Sostenimiento provisional en bóveda y apuntalamiento de longarinas según el Método Belga*

#### 4.2.1.2. Fases de excavación

En síntesis, las fases de ejecución típicas son las siguientes:

- Excavación y entibación de la galería de avance (de dimensiones reducidas, aproximadamente de 1,80 m x 1,50 m).
- Ensanche lateral y entibación de la sección de avance.
- Encofrado y Hormigonado de la bóveda.
- Ejecución de la destroza central.
- Excavación por bataches contrapeados y hormigonado de hastiales.
- Ejecución de contrabóveda.
- Inyecciones de contacto.

El hormigonado de la bóveda se ejecuta mediante bombeado “in situ”. Posteriormente se realiza la excavación de la destroza inferior para finalizar con el hormigonado de los hastiales contrapeados, tal y como se muestra en la siguiente figura. La sección se completa finalmente mediante la contrabóveda o solera de cierre.

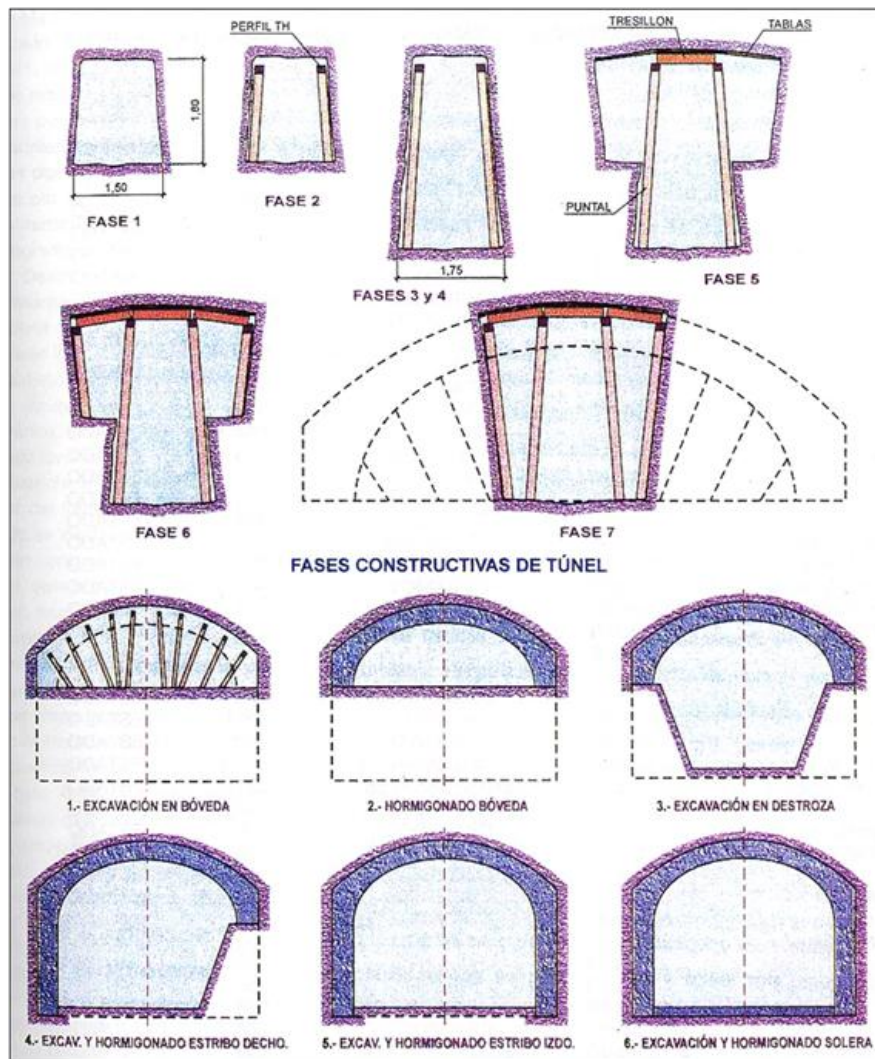


Figura 4-2. Fases constructivas habitualmente utilizadas en el Método Tradicional de Madrid



*Figura 4-3. Encofrado y hormigonado de la bóveda*



*Figura 4-4. Destroza y ejecución de hastiales desfasados*

Tras la ejecución de la contrabóveda, se inyecta el trasdós de la bóveda a través de taladros pasantes. Con este proceso se persigue rellenar los huecos que hayan podido quedar en el trasdós de la bóveda, entre el hormigón, la entibación de madera y el perfil de excavación, e impermeabilizar las juntas de contacto entre anillos.

La presión de inyección debe ser limitada para evitar la aparición de cargas excesivas sobre el revestimiento, limitándose habitualmente a 2 bares.

#### **4.2.2. Método Alemán**

##### **4.2.2.1. Descripción del Método**

El empleo de este método constructivo está concebido para el diseño de túneles de grandes luces, superiores a 11 m, y en terrenos de mala calidad. Este sistema constructivo está basado en la limitación máxima de la excavación y su rápido hormigonado. Se consigue que, una vez hormigonadas las secciones excavadas, trabajen en conjunto como un sostenimiento continuo que evita las deformaciones iniciales del terreno. Con esta metodología de excavación se pueden obtener túneles de 12 a 20 m de luz mediante la realización de excavaciones de galerías de dimensiones inferiores a 3 m de luz.

Primeramente, se ejecutan las excavaciones de las galerías en los hastiales y en la clave. Tras ello, se hormigona parte de los hastiales, se excavan los hombros del túnel y se procede al hormigonado de la bóveda. La siguiente y última fase consiste en la excavación y hormigonado de la contrabóveda. (Referencia: López Jimeno, Carlos. (1997). Manual de túneles y obras subterráneas. Entorno Gráfico S.L).

##### **4.2.2.2. Fases de excavación**

En síntesis, las fases de ejecución típicas son las siguientes:

- Excavación de galerías de hastiales y clave: se realiza ejecutando la apertura de dos galerías ubicadas en ambos laterales, las cuales conformarán los hastiales de la sección del túnel prevista. Dichas galerías tienen una dimensión aproximada de 2,50 x 2,50 m, mientras que la galería que se ejecuta en la clave tiene una sección en torno a 2,00 x 1,50 m. Durante la excavación de todas estas galerías se ejecuta un sostenimiento, similar al del método tradicional Belga, que consiste en la colocación de cerchas tipo TH y entibaciones de madera.
- Excavación y hormigonado de semi-sección de hastial: desde el fondo de las galerías anteriormente excavadas y sostenidas, se procede al inicio del hormigonado del hastial, hasta el inicio de estas. El hormigonado se realiza mediante pozos de profundidad y longitud aproximada de 2,50 m y 5 m respectivamente.
- Excavación y hormigonado de las galerías transversales de bóveda: desde las galerías laterales, anteriormente ejecutadas, se excavan las galerías transversales con la forma de la directriz de la bóveda del túnel. Las nuevas galerías se conectan con la ejecutada en la clave. Sus dimensiones son de aproximadamente de 2 - 3 m de ancho y 1,50 m de altura. El sostenimiento a utilizar, en este caso, se compone de longarinas metálicas y tablas. Tras la ejecución de la excavación, se procede al hormigonado de la bóveda,

quedando apoyada en los hastiales. Esta acción se realiza desde la galería ubicada en la clave del túnel.

- Excavación de la caverna y hormigonado de la contrabóveda: la excavación de la caverna y la ejecución de la contrabóveda se realiza desde el propio túnel en tramos de 10 a 20 m de longitud.

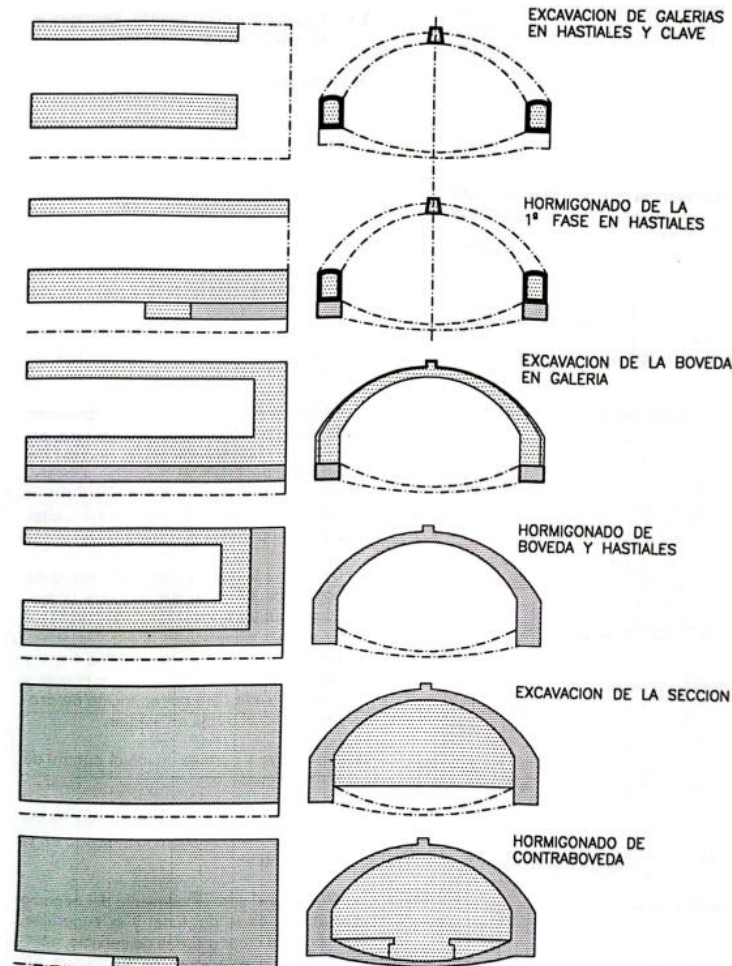


Figura 4-5. Fases de excavación del Método Alemán. (López Jimeno, Carlos. (1997). *Manual de túneles y obras subterráneas*. Entorno Gráfico S.L)

#### 4.2.3. Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.)

##### 4.2.3.1. Descripción del Método

Este proceso constructivo aprovecha la relajación del terreno entre las fases de excavación y ejecución del sostenimiento para reducir las tensiones litostáticas sobre el túnel.

Se trata de un proceso constructivo observacional que evalúa de manera continua el comportamiento del túnel y, en función de este aspecto, se van ajustando las necesidades de sostenimiento.

La excavación se puede realizar por medios mecánicos o mediante perforación y voladura, en función de las características del terreno. El método de perforación y voladura es muy empleado para túneles en roca, especialmente cuando la roca es muy abrasiva, resistente o se encuentra

en estado masivo. Este procedimiento está especialmente indicado para túneles de longitud moderada excavados en rocas competentes. Si la roca es muy abrasiva puede producir un desgaste alto de la maquinaria de excavación mecánica además de un aumento importante en el plazo de ejecución.

Cuando las condiciones del terreno o motivos de seguridad no hacen aconsejable el empleo de explosivos, se debe recurrir a la excavación mecánica. Dentro de los sistemas de excavación mecánica, se pueden distinguir tres tipos: excavación mecánica con rozadora, excavación mecánica con martillo rompedor y excavación mecánica con excavadora hidráulica a utilizar en función de la tipología del terreno a travesar.

En cuanto al sostenimiento a aplicar, la filosofía constructiva del Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.), se basa en la aplicación de sostenimientos ligeros, basados en el empleo de hormigón proyectado, bulones, mallazo y cerchas. Estos sostenimientos ligeros se colocan inmediatamente después a la ejecución del pase y permiten la disipación de gran parte de la energía potencial del macizo, que se libera tras la apertura de la perforación. Este método permite una cierta deformación del terreno hasta el momento en que se coloca el sostenimiento, aprovechando así, la colaboración del mismo en la estabilidad de la excavación.

Este método se fundamenta en los siguientes principios básicos:

- La zona de terreno que circunda al túnel interviene en la estabilidad de la excavación y es el principal elemento del que depende. Es decir, es el propio terreno el que se auto sostiene, ya que forma un arco de descarga o corona de plastificación en torno al túnel que transmite las tensiones a ambos lados de este.
- Como consecuencia de lo señalado en el punto anterior, conviene mantener inalteradas en la medida de lo posible, las características del material que rodea al túnel. Para ello es aconsejable emplear cualquier técnica de excavación mecánica.
- Para facilitar la distribución de tensiones en el anillo que rodea el túnel, se definen secciones tipo con formas pseudo-circulares, evitando los puntos angulosos.
- Inmediatamente tras la excavación, se coloca el sostenimiento primario que estabilizará el túnel. Más adelante, se colocará el revestimiento definitivo y la contrabóveda para asegurar la estabilidad de la excavación a largo plazo y controlar las convergencias residuales.
- El sostenimiento aplicado actúa aportando una presión interior, que produce un estado de confinamiento radial sobre el terreno del entorno. Este estado de presión interior, junto con la colaboración auto-portante del terreno deberán ser suficientes para garantizar la estabilidad de la sección.
- En etapas posteriores del proyecto se diseñarán las secciones de sostenimiento particulares para cada túnel en función de las características particulares del terreno. La filosofía del método permite optimizar y adecuar los sostenimientos durante la obra, en función de la calidad del terreno y los resultados de la instrumentación del túnel.

#### **4.2.3.2. Fases de excavación**

El esquema habitual de excavación de túneles de estas dimensiones aconseja realizar la excavación por fases, denominadas como avance y destroza. En las zonas de peores condiciones

geotécnicas, se agregará una tercera fase, denominada contrabóveda. A continuación, se exponen brevemente diversos aspectos relacionados con la excavación de cada una de estas fases:

- Avance: es la mitad superior de la sección del túnel (zona de bóveda). La sección de excavación de esta fase tiene una altura mínima desde clave de aproximadamente 6-7 m, suficiente para la correcta movilidad de la maquinaria necesaria.
- Destroza: es la mitad inferior de la sección del túnel. Esta fase se comenzará a excavar a cierta distancia de la fase de avance o una vez calado el túnel. Si apareciesen problemas geotécnicos, la excavación de la destroza se podrá subdividir en bataches. En caso de hacerse en dos fases, en primer lugar, se excavará una mitad de la sección, se sostendrá su hastial, para, a continuación, excavar la otra mitad y sostener el hastial restante. Otra posibilidad será excavar la zona central de la destroza, y posteriormente, excavar las zonas laterales sosteniendo sus respectivos hastiales. Las excavaciones en varias fases reducen al máximo la sección de excavación y, por lo tanto, aumentan la estabilidad.
- En zonas de mala calidad geotécnica, se ejecutará una tercera fase de contrabóveda, excavada bajo la destroza. Esta operación es norma de buena práctica habitual en obras de este tipo. Al atravesar terrenos de mala calidad geotécnica, como las zonas de falla, las tensiones horizontales son mayores que las verticales, por lo que se requiere dar continuidad a dichas tensiones entre hastiales a través de la contrabóveda.

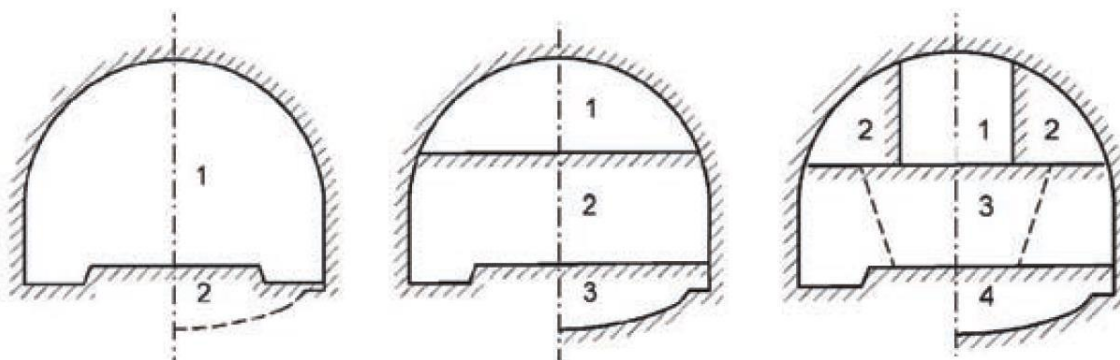


Figura 4-6. Ejemplos de excavación a sección completa o por fases

### Ciclos de trabajo

La ejecución de la excavación, sostenimiento, impermeabilización y revestimiento de los túneles se realizará de acuerdo con procesos cíclicos. A continuación, se describen los ciclos de trabajo a seguir en cada etapa de ejecución:

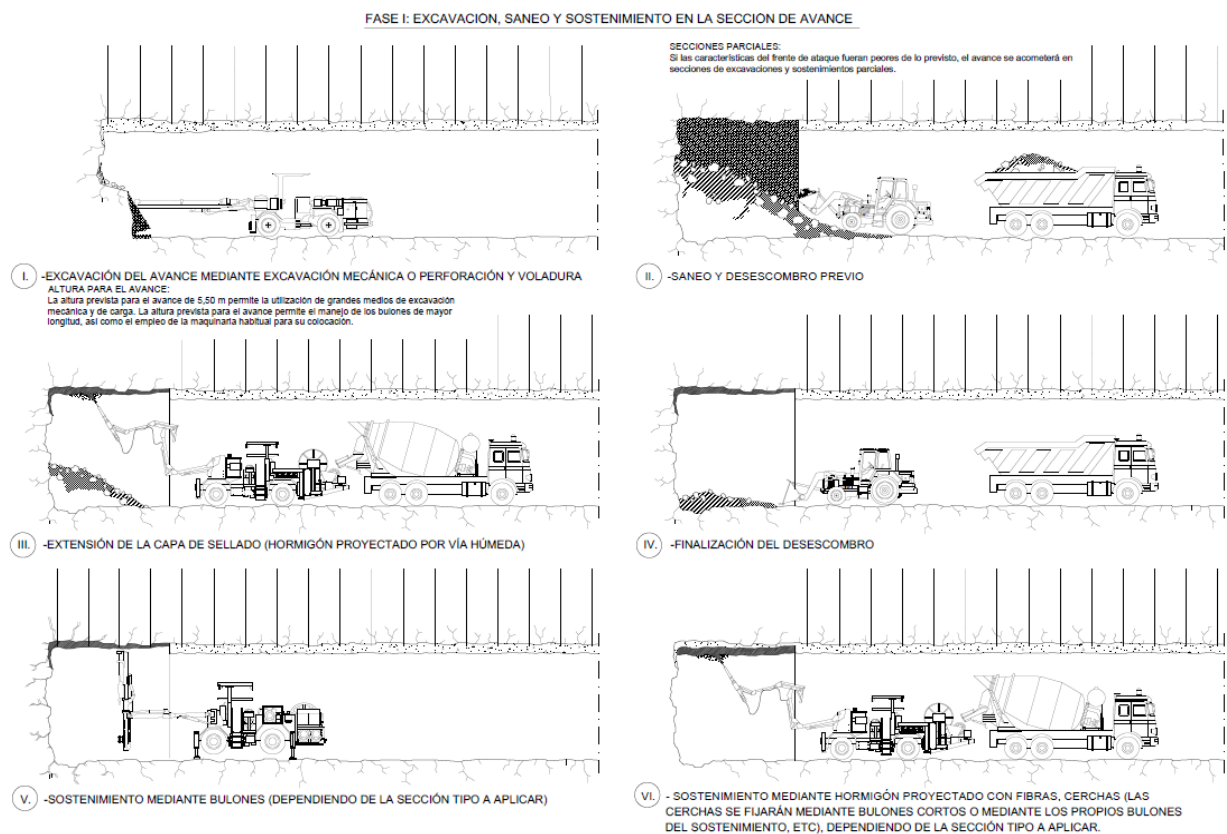
#### ■ Excavación, saneo y sostenimiento

La primera etapa en la ejecución de los túneles consistirá en la ejecución de los ciclos de excavación y sostenimiento. La excavación se plantea mediante métodos mecánicos o perforación y voladura. La altura del avance deberá permitir la circulación fluida de la maquinaria y el manejo de los bulones si fuese necesario, con la longitud indicada en los cuadros de sostenimientos propuestos, por lo que será al menos de 6-7 m. La longitud de los pases de excavación dependerá de la calidad del terreno, variando en avance entre 0,5 m para las zonas singulares y las zonas de falla que cruzan transversalmente la traza, y los 3,5 m para las zonas

más competentes. Simultáneamente a la excavación, se desarrollarán las labores de desescombro. Una vez finalizado el pase de excavación, se colocará el sostenimiento. El ciclo finaliza con el replanteo del siguiente pase de excavación.

- La fase de destroza se realizará por bataches, donde la longitud de excavación puede oscilar en función de la calidad del terreno entre 1 y 7-8 m. Finalizado el pase de excavación, se colocará el sostenimiento previsto (hormigón proyectado, bulones y cerchas).

Mediante este proceso cíclico, se excavará tanto el avance como la destroza de los túneles y en su caso, la contrabóveda. A continuación, se esquematizan las fases de excavación descritas anteriormente.



*Figura 4-7. Fase de excavación en la sección de Avance*

## FASE II: EXCAVACIÓN, SANEAMIENTO Y SOSTENIMIENTO EN LA SECCIÓN DE DESTROZA

### FASE PARA UNO DE LOS HASTIALES

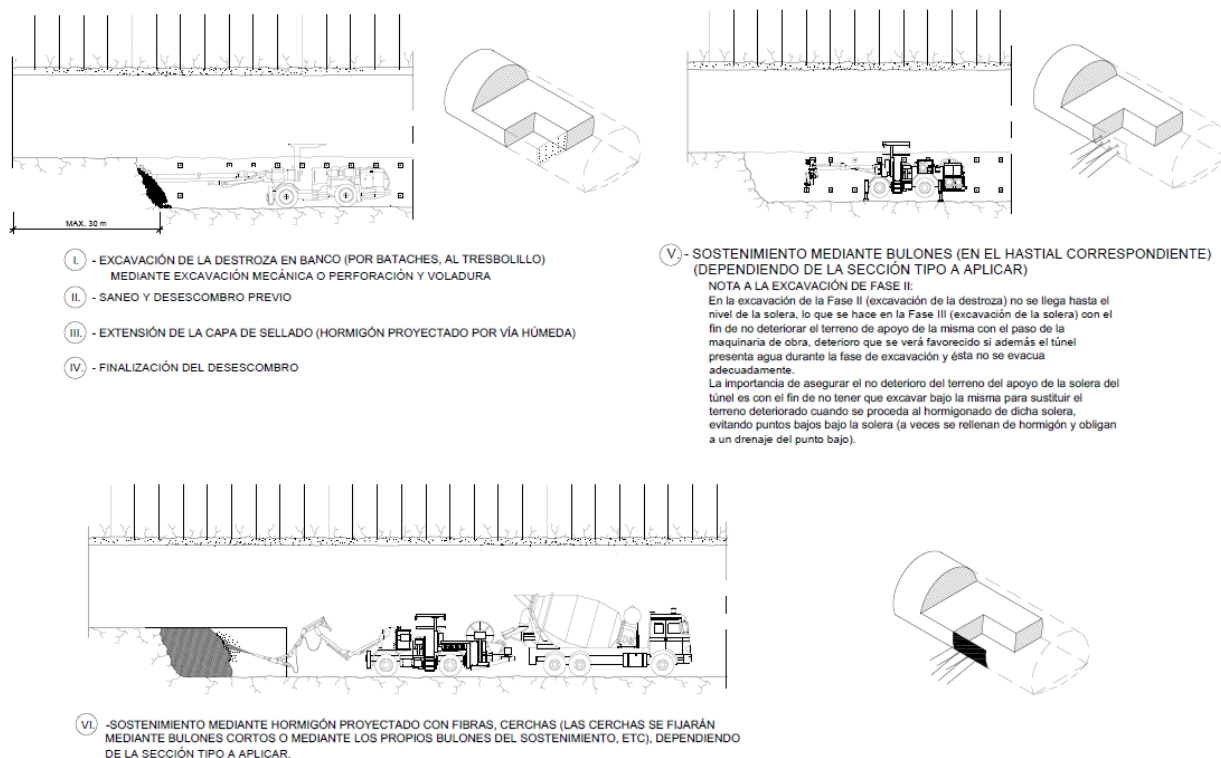


Figura 4-8. Fase de excavación en la sección de Destroza, primer hastial

## FASE II: EXCAVACIÓN, SANEAMIENTO Y SOSTENIMIENTO EN LA SECCIÓN DE DESTROZA

### FASE PARA EL HASTIAL OPUESTO

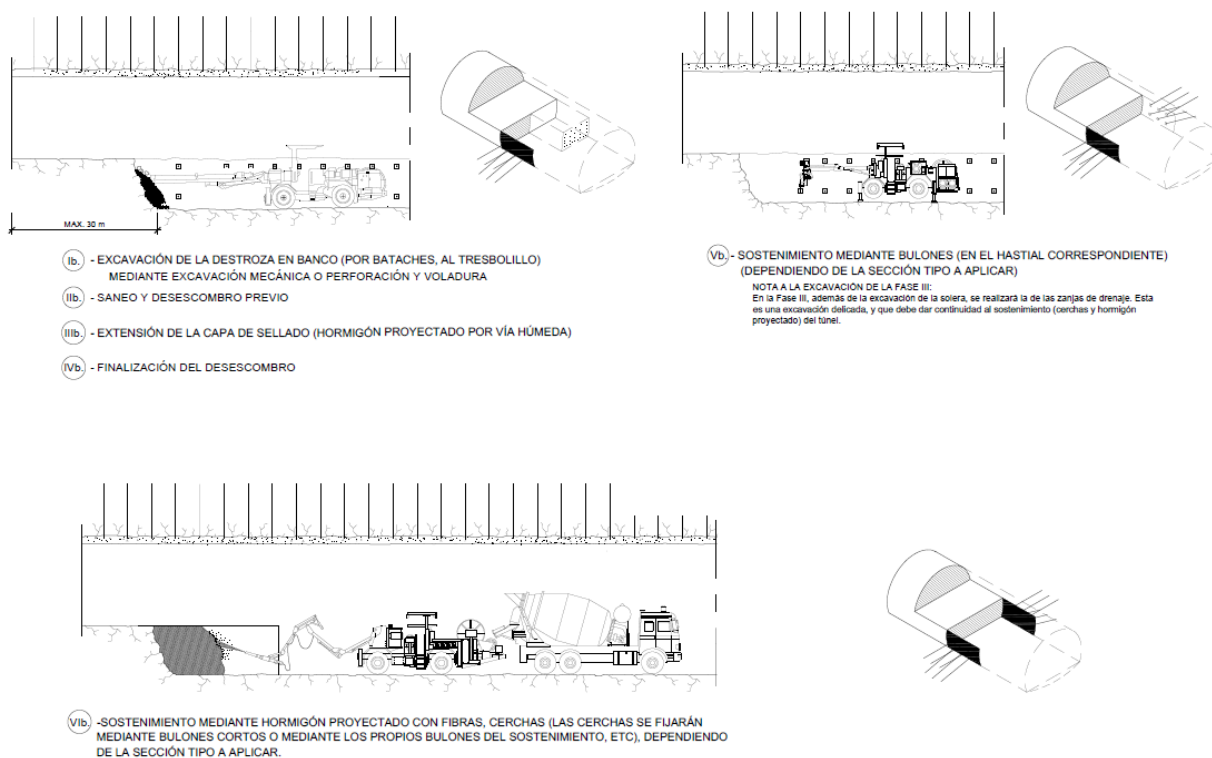
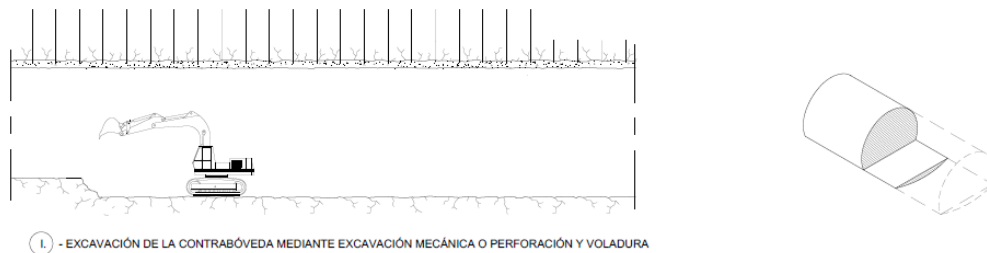


Figura 4-9. Fase de excavación en la sección de Destroza, hastial opuesto

#### FASE III: EXCAVACIÓN Y SANEAMIENTO DE CONTRABÓVEDA



#### FASE IV: REVESTIMIENTO

I. - REVESTIMIENTO DE LA SECCIÓN COMPLETA

*Figura 4-10. Fase de excavación de la contrabóveda*

### 4.2.4. Tuneladora

#### 4.2.4.1. Descripción del Método

El procedimiento de excavación mediante tuneladora consiste en la ejecución del túnel de manera mecanizada, a sección completa y al abrigo de un escudo rígido que protege en el frente de excavación a los trabajadores de la obra. El ciclo de trabajo estaría formado básicamente por las siguientes acciones: excavación, regripping y montaje de anillo.

Este método de construcción se caracteriza por presentar unos rendimientos de excavación elevados, los cuales suelen oscilar de media entre los 350 y 400 m/mes para suelos y de 500-550 m/mes para roca. Además, también supone una mejora considerable en aspectos de seguridad frente a la excavación por métodos convencionales. Sin embargo, este método de excavación requiere de una inversión inicial considerable y dispone de menor versatilidad frente a cambios de las condiciones geotécnicas a lo largo de la traza. También requiere de una instalación de obra de gran superficie para poder incluir todas las instalaciones necesarias para el funcionamiento de toda la maquinaria. En esta área se deberían ubicar oficinas, acopio de dovelas, zona de desescombro, fábrica de dovelas, planta de mortero y demás requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento y avance de la excavación de la tuneladora. Dicha superficie debe situarse junto al emboquille de ataque. En cuanto a la planta de hormigón, esta puede considerarse dentro de la instalación de obra o bien externa a la obra con lo que ello supone a nivel de aumento de volumen de tráfico de camiones desde plantas externas hasta la obra.



*Fotografía 4-1. Área de instalaciones*

#### 4.2.4.2. Tipos de Tunneladoras

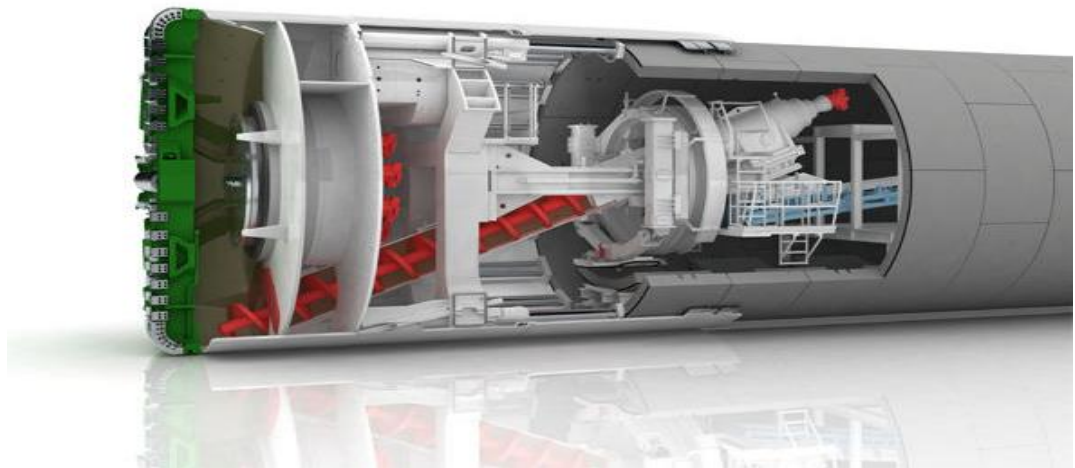
A continuación, se muestra un cuadro resumen de los diferentes tipos de tunneladoras que existen y una breve definición conceptual de cada una de ellas:

	Tipo de Tunneladora
Para túneles en Suelos	EPB
	Hidroescudo
	Multimodo/Densidad variable
Para túneles en Roca	Topo
	Escudo simple
	Escudo Doble

*Tabla 4-1 Tipos de tunneladoras*

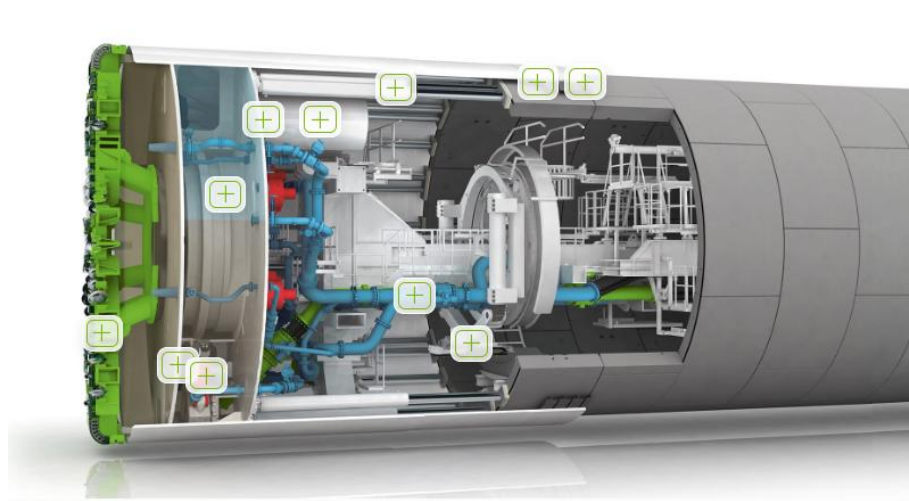
**EPB:** diseñada para suelos blandos con alto contenido de agua. Utiliza el propio material excavado para equilibrar la presión del terreno en el frente.

- Ideal para zonas urbanas.
- Minimiza asentamientos del terreno.



**Hidroescudo:** se utiliza en materiales con baja cohesión y su funcionamiento consiste en introducir lodos al frente para así mantener la presión en este. Si bien, cuando se excava se está empujando la máquina contra el frente apoyando en las dovelas, pero cuando se detiene la excavación no habría forma de mantener el frente si no existiese este sistema.

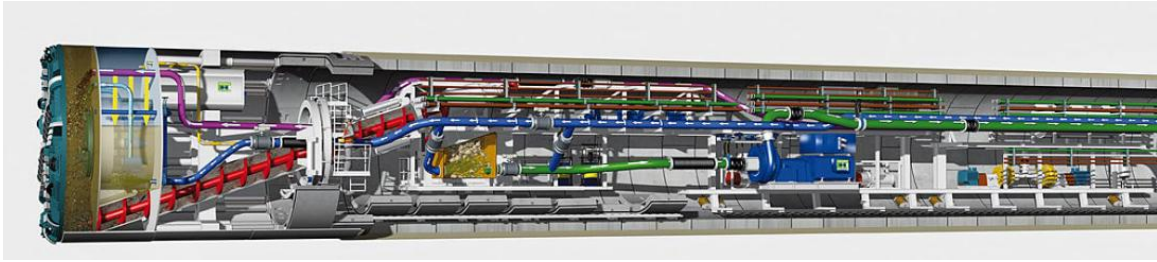
- Necesita de una gran superficie destinada a instalaciones de obra para el tratamiento de los lodos utilizados.



**Multimodo/Densidad Variable:** la tuneladora de densidad variable puede funcionar en el modo de presión de tierras y de presión de lodos, y puede alternar entre los modos de funcionamiento con un ajuste continuo del soporte de la presión del frente, en función de la geología predominante, sin necesidad de realizar intervenciones en la cámara.

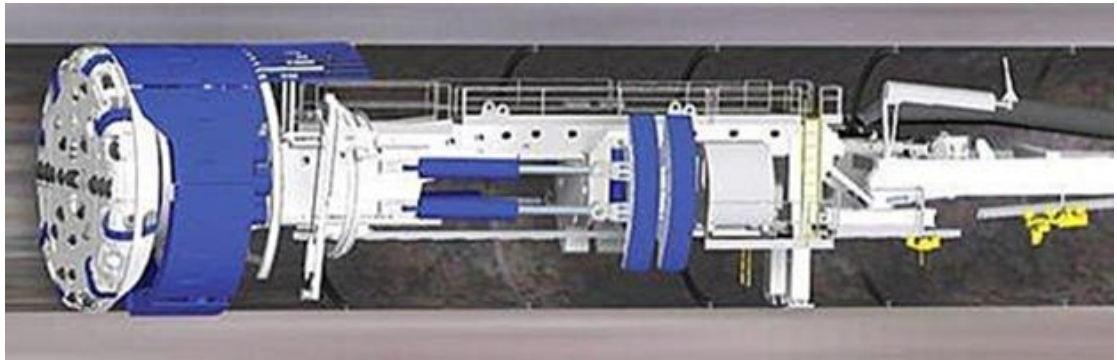
#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.



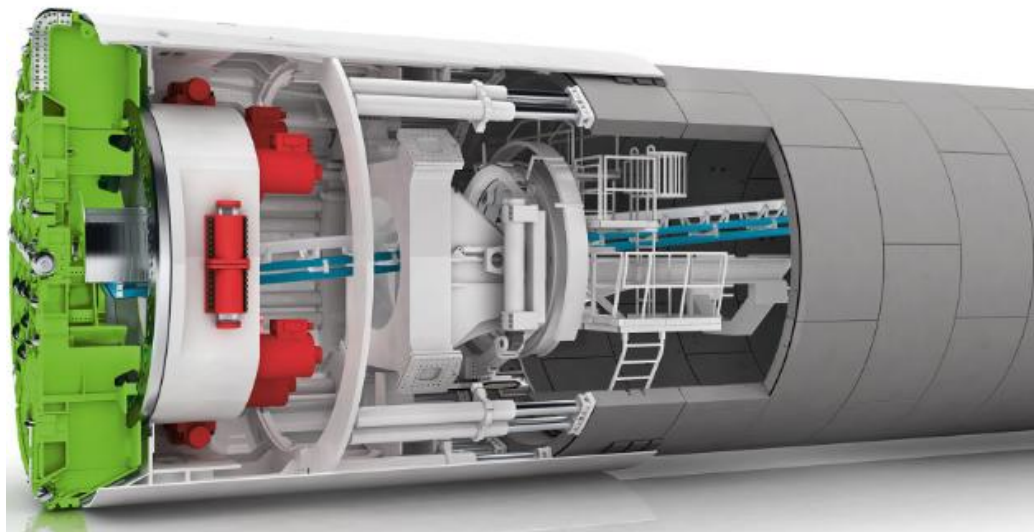
**Topos:** son las tuneladoras óptimas para macizos rocosos muy buenos. Aunque se trate de un macizo muy bueno, se debe disponer de algún tipo de protección (coraza y espadines) por la posibilidad de cuñas puntuales.

- Utilizan grippers para apoyarse sobre la roca y así poder empujar la cabeza de corte contra el frente.
- Trabajan por empuje y rotación de la cabeza de corte.



**Escudo Simple:** estas máquinas cuentan con un escudo metálico que protege el frente de excavación.

- Específica para terrenos estables.

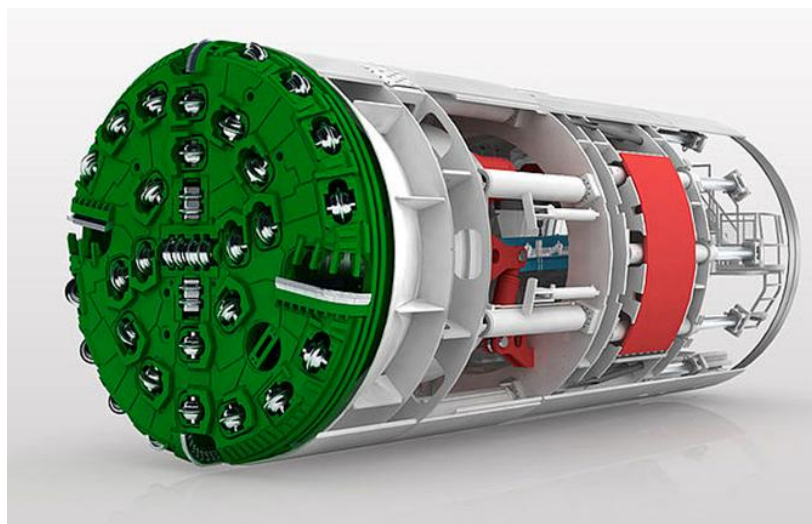


**Doble Escudo:** combina características de las TBM de roca dura y escudo. Puede avanzar mientras instala el revestimiento, lo que la hace muy eficiente.

- Ideal para túneles largos en roca con secciones inestables.

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.



#### 4.2.4.3. Selección del tipo de tuneladora

Es importante tener presente que, como parte de cualquier proyecto de construcción mediante tuneladora, es imprescindible no sólo realizar una campaña geotécnica de detalle e intensiva a lo largo del trazado para poder caracterizar y obtener los parámetros de diseño, sino que es necesaria la realización de un informe específico conocido como “Informe de Selección de Tuneladora”.

En dicho informe, en base a todos los resultados obtenidos de la campaña geotécnica y de los ensayos de laboratorio que se realicen en los terrenos atravesados, podrá definirse con seguridad la tipología de tuneladora más apropiada para el trazado considerado.

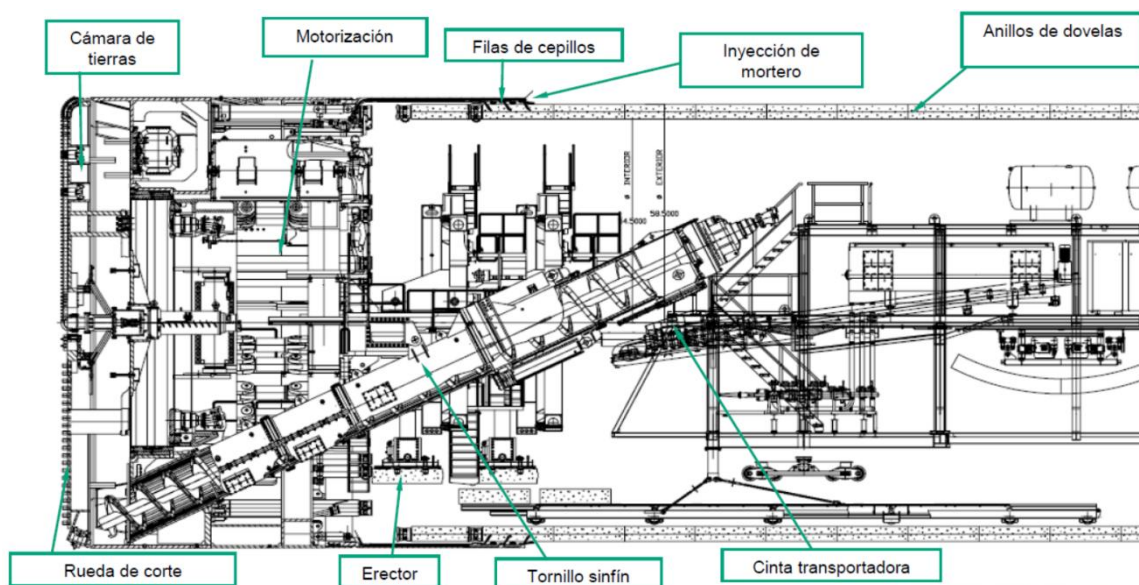
Considerando lo anteriormente señalado y teniendo en cuenta la escasa información de la que se dispone respecto de las características geotécnicas de los terrenos en los que se desarrolla el estudio, y considerando la posibilidad de que la rueda de corte pueda encontrarse en diferentes tramos de la traza con frentes de excavación mixtos (suelo+roca) en la parte superior, se pueden considerar a este nivel de estudio que los tipos de tuneladora más apropiados a utilizar serían:

- Tuneladora EPB (Earth Pressure Balance o Escudo de Presión de Tierras). El rango de aplicación más propicio para este tipo de tuneladoras son los suelos cohesivos o granulares con cierto contenido en finos. No obstante, este tipo de tuneladora se puede fabricar considerando la posibilidad de cambio de cortadores para roca y cangilones para suelos, además de con la posibilidad de trabajar en vacío, esto es, sin presión en el frente.
- Tuneladora con doble escudo. Siendo este un tipo de máquina de excavación subterránea que combina las características de dos sistemas: el topo (para roca dura) y el escudo (para terrenos blandos o inestables). Su diseño permite adaptarse a diferentes tipos de terreno durante la excavación de túneles.

- a) Definición de Tuneladora EPB (Earth Pressure Balance o Escudo de Presión de Tierras)

Para este estudio y considerando el nivel de detalle sobre el que se puede avanzar, se considerará como una de las opciones la tuneladora EPB, adaptada a las condiciones geológicas presentes en el tramo de análisis y dando prioridad al control del frente por encontrarnos en un entorno urbano, con probabilidad de que parte del frente de excavación se encuentre con suelos en diferentes tramos del trazado.

Las tuneladoras tipo EPB se diseñan para resolver el problema que plantea la estabilidad del frente de excavación cuando el terreno es inestable, situación que se produce habitualmente en los túneles excavados en terrenos tipo suelo, sobre todo si están situados bajo el nivel freático o cuando el terreno está constituido por una roca blanda y la profundidad a la que se excava el túnel es considerable.



*Figura 4-11. Sección longitudinal tuneladora EPB*

Para controlar la estabilidad del frente del túnel, la EPB amasa los terrenos excavados en el interior de una cámara, presionándolos contra el frente mediante unos cilindros hidráulicos que empujan la cabeza de corte.

En función de la granulometría del terreno y de su grado de humedad, éste será más o menos fácil de amasar. Cuando existen dificultades para el amasado hay que acondicionar los terrenos añadiéndoles agentes espumantes, polímeros o suspensiones de arcillas, de modo que la mezcla tenga una consistencia adecuada para su transporte por cinta o vagón. Si no se emplean agentes de tratamiento puede ocurrir que se produzca un menor rendimiento de avance, entradas de agua dentro de la tuneladora, elevados costes de mantenimiento por reposiciones, paradas, consumos; o incluso la interrupción prolongada de la obra.

Para mantener la presión de tierras en la cámara de excavación, la extracción del material excavado se hace mediante un tornillo sinfín o tornillo de Arquímedes estanco que, en los escudos de mayores dimensiones, llega a tener 1,5 m de diámetro. Este tornillo vierte el material sobre las cintas del back-up que alimentan el sistema de transporte. El transporte del escombro hasta el exterior del túnel se produce mediante cinta transportadora o vagones arrastrados por

locomotoras. El control del material extraído es fundamental para garantizar la no formación de chimeneas en el frente de excavación.

Los Escudos de Presión de Tierras (EPB) para salvar la resistencia del terreno y lograr avanzar realizando la excavación, se apoyan sobre el revestimiento del túnel, que debe estar constituido por anillos de dovelas de hormigón armado. Este apoyo tiene lugar mediante unos cilindros hidráulicos o gatos de empuje ubicados en la parte posterior del escudo.

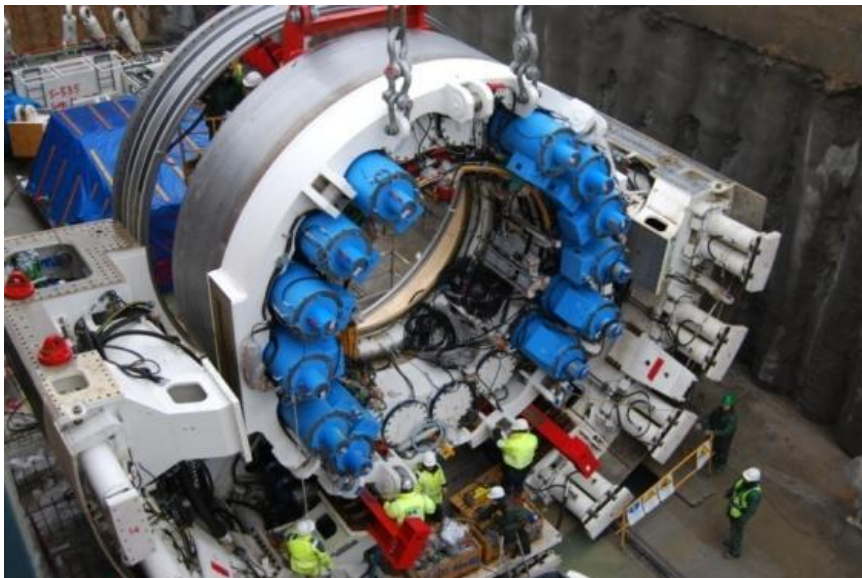
En las siguientes figuras se muestra, a modo de ejemplo, una rueda de corte de una EPB, el tornillo sinfín y los gatos hidráulicos de los que disponía la tuneladora.



*Figura 4-12. Rueda de corte de tuneladora EPB túnel Atocha – Chamartín (Madrid)*



*Figura 4-13. Escudo y tornillo sinfín de tuneladora EPB túnel Atocha – Chamartín (Madrid)*



*Figura 4-14. Gatos hidráulicos de tuneladora EPB túnel Atocha – Chamartín (Madrid)*

El anillo de dovelas se conforma completamente dentro del escudo, por lo que es necesario que el diámetro exterior del escudo sea algo mayor que el diámetro externo del anillo de dovelas. Al ir avanzando el escudo, los anillos de dovelas, ya montados, salen del interior del escudo dejando un espacio (o gap) entre la superficie externa del anillo de revestimiento y el terreno excavado.

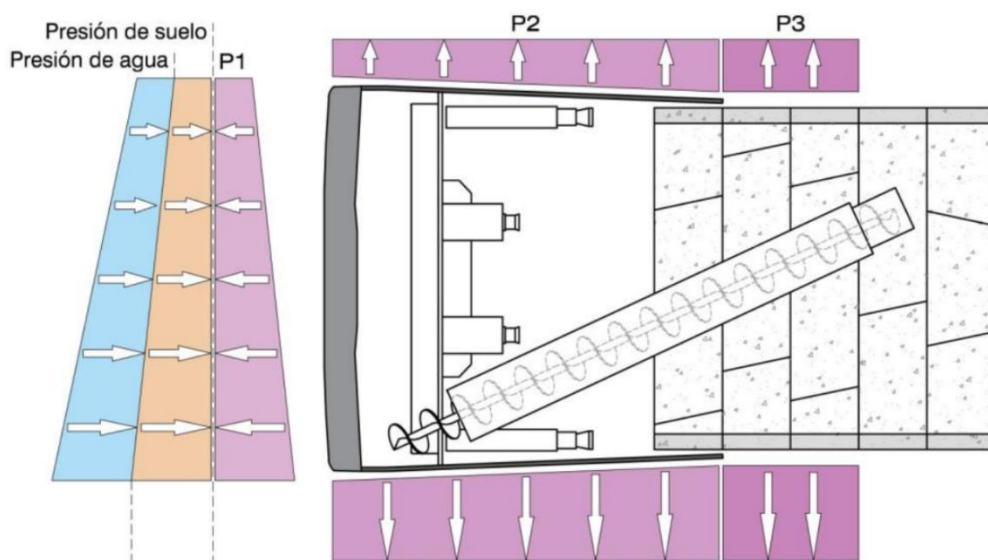
Este espacio, que normalmente mide entre 15 y 20 cm, debe ser rellenado rápidamente; ya que, en caso contrario, supondría un incremento de varios centímetros de la subsidencia que podría afectar a la superficie. Normalmente, en los Escudos de Presión de Tierras (EPB), este espacio se rellena con un mortero de cemento que se inyecta con presiones de hasta 10 kp/cm<sup>2</sup>. En la actualidad, se está tendiendo a que el mortero de relleno del gap sea de tipo bicomponente.

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

El volumen de gap a rellenar no solo es debido al espacio necesario entre el exterior del anillo de dovelas y la parte externa de la cola del escudo, sino que tiene también una componente debida a la conicidad que tiene el escudo de la tuneladora entre la cabeza y la cola del mismo, así como otra componente debida al sobrecorte que pueden producir los cortadores de gálibo que se suelen disponer en la cabeza de corte de la tuneladora a fin de facilitar el avance de la misma a través del terreno.

Además de la presión de tierras en el frente y de la inyección de mortero a presión en el trasdós de las dovelas, es posible inyectar, a través de la coraza, un lodo arcilloso en el hueco que existe entre la chapa del escudo y el terreno. Esta inyección puede servir tanto para minimizar el rozamiento producido entre terreno y tuneladora al avanzar, como para ayudar a limitar la potencial subsidencia producida como consecuencia de la conicidad de la máquina y el sobreancho de excavación de la cabeza de corte. En la siguiente figura se muestran las presiones a contrarrestar y las ejercidas en el proceso de excavación mediante EPB.



*Figura 4-15. Presiones en el proceso de excavación mediante EPB*

Con objeto de que el mortero inyectado no invada la zona de trabajo, protegida por el escudo, todas estas máquinas tienen en la parte trasera o cola del escudo un dispositivo, formado por varias filas circunferenciales de cepillos de acero con grasa consistente entre cada fila, que se denomina juntas de grasa o estanqueidad.

En la mayoría de las ocasiones, la presión en el frente en un Escudo de Presión de Tierras (EPB) no podrá eliminarse cuando sea necesario realizar una parada; puesto que, si la presión desapareciera, el frente se volvería inestable y colapsaría. Por ello, cuando es necesario revisar los escudos se utiliza aire comprimido para mantener la presión en el frente. En estas condiciones, para acceder al frente, el escudo dispone de un sistema de esclusas, para permitir el paso de personas, así como un mecanismo para poder cerrar la entrada de tierra al tornillo de extracción.

Todas las máquinas EPB disponen de una grúa móvil, denominada erector, que permite manipular las dovelas para conformar el anillo completo. También disponen de una cabina de

mando desde la que se controla la trayectoria de la tuneladora y los parámetros que definen su funcionamiento. Entre estos es de especial relevancia controlar la evolución de la presión de las tierras en la cámara de excavación; puesto que ejerce un efecto muy directo sobre la subsidencia que se produce en la superficie tras el paso de la tuneladora.

La capacidad de empuje de la tuneladora, como mínimo, deberá ser tal que cumpla con las siguientes funciones:

- Evitar la deformación horizontal en el frente de excavación.
- Compensar la presión efectiva horizontal del terreno y la presión del agua intersticial.
- Eliminar los asientos verticales del terreno por delante del frente de excavación.
- Superar el rozamiento del escudo durante el avance de la máquina.
- Capacidad de poder alcanzar una presión adicional de empuje para garantizar el desbloqueo de la máquina en caso de atrapamiento.

Además, la cabeza de corte de la tuneladora debe estar dotada, como mínimo, de un par motor que permita cumplir con las siguientes funciones:

- Excavar el terreno mediante las herramientas de corte dispuestas en la cabeza.
- Superar el rozamiento entre terreno y cabeza de corte.
- Superar los esfuerzos radiales y tangenciales del rodamiento principal.
- Superar el rozamiento de los anillos de sellado.
- Homogeneizar las tierras dentro de la cámara.

#### **b) Definición de tuneladora tipo Doble Escudo**

Las tuneladoras conocidas como doble escudo son tuneladoras que presentan características tanto de topo como de escudo. Se trata de un escudo telescópico articulado en dos piezas pensado para sostener el terreno al avanzar en la excavación del túnel. La principal característica de este tipo de tuneladora es su doble sistema de propulsión independiente, el primero para el escudo y el segundo para el topo.

Esta máquina se define como versátil, ya que permite excavar tanto la roca dura que los escudos propiamente dichos no podrían perforar, con rendimientos parecidos a los de los topos. Del mismo modo, permite la excavación en terrenos inestables y heterogéneos que los topos no podrían ejecutar. Es una alternativa como solución para terrenos a atravesar que presenten tramos variables entre suelo y roca.

Este tipo de tuneladora dispone de dos escudos: el delantero y el trasero. El delantero soporta la cabeza de corte, contiene el rodamiento principal, la corona de accionamiento y los sellos interno y externo. El trasero incluye las zapatas de los “grippers” operables a través de ventanas. En su parte posterior incorpora el erector de dovelas y los cilindros de empuje para la propulsión en modo escudo normal.

El movimiento de estas dos partes es independiente, situándose los “grippers” en un hueco abierto entre ambas, por lo que la cabeza puede excavar mientras que en la cola se van montando los anillos de dovelas. Al mismo tiempo que los cilindros de empuje principal

impulsan hacia delante el escudo de cabeza y la rueda de corte realiza la excavación, en el escudo trasero se procede al montaje de un nuevo anillo de dovelas de sostenimiento al abrigo del mismo, lo cual aporta seguridad en las operaciones u actividades dentro de la tuneladora. Este sistema se aplica en aquellos terrenos capaces de resistir la presión que transmiten los “grippers”.

Cuando el terreno no es capaz de resistir la presión de los “grippers”, la tuneladora funciona como escudo simple, cerrándose el hueco de los “grippers”, apoyándose mediante unos cilindros auxiliares en el último anillo colocado, para así obtener la reacción necesaria para el empuje de la cabeza de corte. Trabajando en modo escudo no es por tanto posible simultanear la excavación con el montaje del anillo de dovelas

#### **4.2.4.4. Elementos básicos de la tuneladora**

Los elementos básicos que componen una tuneladora son: cabeza o rueda de corte, escudo y back-up. La composición y disposición de estos elementos dependerá completamente del fabricante de la tuneladora, por lo que los valores que a continuación se indican son referenciales.

##### ■ Rueda de corte

La rueda de corte de una tuneladora estará compuesta por picas, cortadores y por rastrillos para definir el perímetro de la excavación.

La apertura de la cabeza debe ser lo suficientemente pequeña para que en caso de terreno muy suelto o con mucha agua se impida una entrada de material voluminoso. Y debe ser lo suficientemente grande para que el material entre con facilidad en la cámara al ir siendo cortado por las picas y dientes. Así mismo, la estructura metálica de la cabeza de corte debe ser lo suficientemente rígida para soportar los enormes empujes a que está sometida y los esfuerzos de los dientes y picas.

##### ■ Escudo

El escudo, así como la presión de tierras en el frente, impiden al terreno invadir el volumen excavado.

La longitud de escudo en una máquina EPB suele cumplir una relación con el diámetro de la cabeza de corte aproximadamente igual a 1, es decir,  $L/D \approx 1$ . Así, un valor típico de longitud de un escudo son unos 10 m, para tuneladoras de entre 9-10 m de diámetro. Para el caso de la tuneladora de doble escudo, la longitud combinada de los escudos puede llegar hasta los 30 m.

##### ■ Back-up

Es la estructura que arrastra el escudo con todas las instalaciones auxiliares necesarias para realizar la excavación del túnel.

En el back-up se distribuyen en vagones los siguientes elementos:

- Equipo de inyección de mortero.
- Transportador y alimentador de dovelas.
- Cintas auxiliares.

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

- Perforadoras para sondeos y/o tratamientos.
- Sistema de ventilación.
- Sistemas de seguridad.
- Equipos de inyección de espumas.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos de back-up de tuneladoras.



*Figura 4-16. Ejemplo Back-up de tuneladora (I)*



*Figura 4-17. Ejemplo Back-up de tuneladora (II)*

#### 4.2.5. Cut & Cover

##### 4.2.5.1. Descripción del Método

Una de las soluciones habituales para este tipo de estructuras en zona urbana es la de falso túnel, ejecutado mediante el método de Cut&Cover. Implementar la solución de túnel en mina o mediante tuneladora obligaría a ejecutar una rasante a mayor profundidad que con esta metodología, con los inconvenientes que ello supone, minimizando las dimensiones de los accesos y pozos (bombeo o emergencia) en caso de ser necesarios.

En la estructura de falso túnel se distinguirán tres elementos:

1. Losa superior.
2. Muros pantalla.
3. Losa inferior.

Con la información disponible, la geometría prevista para cada uno de estos elementos sería:

1. Losa superior: se debe tratar de ejecutar lo más superficial posible, minimizando así las excavaciones, siendo esta una de las mayores ventajas del método propuesto. Lo habitual en zona urbana es que la losa superior quede enterrada a 0,50 m y como máximo (en zona puntuales generalmente por necesidades de servicios) a 1,50 m.

Se distinguen tres tramos o zonas distintas:

- Sección para un carril, con una luz de cálculo aproximada para la losa de 5,60 m.
- Sección de vía doble con una luz aproximada de unos 9,2 m.
- Sección en la que se podrían encajar hasta tres carriles, con una luz aproximada de unos 12,70 m.

La solución habitual para este tipo de elemento sería mediante losa armada, que para cada uno de los casos anteriores los cantos serían:

- Sección para un carril, el canto de la losa podría ser de aproximadamente 0,50 m ejecutada mediante hormigón armado.
- Sección de vía doble con una luz de unos 9,2 m, en este caso el canto podría ser de unos 0,80 m, igualmente ejecutable mediante hormigón armado.
- Sección en la que se podrían encajar hasta tres carriles, con una luz de unos 12,70 m, este caso no sería recomendable bajar de un canto de 1,0 m en caso de hacerse de hormigón armado; si existe la necesidad de reducir el canto se puede recurrir a una solución prefabricada (vigas+losa in situ).

Los cantos anteriores vendrán muy condicionados por los rellenos sobre la losa, por lo que es recomendable minimizarlos, limitando de esta manera el canto.

2. Pantallas: la altura entre la cota inferior de excavación y la superficie variará entre los 6,0 y los 7,5 m (en función de la losa inferior o firme), lo cual quedaría cubierto con unas pantallas

de aproximadamente 12 m de profundidad y un espesor de entre 0,80 y 1,0 m, en función de la proximidad de edificios y la altura.

La longitud de las pantallas citadas se deberá ajustar con los datos y posición real, analizando la necesidad de empotrar en roca y su longitud necesaria.

Para la ejecución de pantalla en roca resulta más sencillo el empleo de hidrofresa, lo que garantizará la continuidad y estanqueidad, lo cual podría evitar ejecutar revestimientos interiores o limitarlo a las zonas de acceso o paradas.

Al no existir napa freática no se debe descartar la posibilidad de ejecutar pantallas de pilotes, en este caso se podría recurrir a diámetros de entre 0,85 y 1,0 m, y separaciones de pilotes entre 1,30 y 1,50 m (en función de la cohesión).

3. Losa inferior: aunque no sería estructuralmente necesaria, dependiendo del apoyo y paquete de firme (pavimento) a ejecutar, sí resulta recomendable, ya que además de acodalar las pantallas garantizará un comportamiento homogéneo del apoyo.

Con las dimensiones del ancho de las secciones previstas en las secciones propuestas, la losa inferior será de hormigón armado con un canto estimado entre 0,4 y 0,50 m.

Aunque no sea necesario se recomienda sellar la unión con las pantallas y conectar losa-pantalla.

El método Cut&Cover propuesto permitirá que la rasante del trazado sea más superficial, liberando el espacio ocupado una vez se ejecute la losa superior para trabajar con posterioridad bajo ella (método Top-Down), según se explicará en el siguiente apartado.

#### **4.2.5.2. Fases de Construcción**

Las fases de construcción mediante el método Cut&Cover se describen a continuación:

1. Preparación de la zona de trabajo, retirada de la parte superficial y servicios afectados, con la excavación previa hasta alcanzar la cota de la plataforma de trabajo.
2. Ejecución de los muretes guía para las pantallas, que debido a la existencia de roca en la que se empotrará, está prevista ejecutar con hidrofresa.
3. Preparación del sistema de excavación, que en el caso particular de la hidrofresa requerirá el empleo de balsa para la recirculación de lodos.
4. Ejecución de las pantallas.
5. Descabezado de pantallas y ejecución de la losa superior.
6. Impermeabilización de la cara superior de la losa.
7. Una vez ejecutada la losa superior se puede reponer el tráfico en el tramo de la calle y continuar los trabajos bajo la losa.
8. Excavación bajo la losa superior hasta la cota máxima.
9. Ejecución losa inferior.
10. Una vez terminada la obra civil, se procederá a ejecutar los remates o elementos funcionales, como son el firme, revestimientos, andenes, barreras, etc.

Durante la fase de ejecución de la obra civil (pantallas y losas) será necesario realizar un seguimiento de las posibles deformaciones tanto en el túnel como en las edificaciones próximas;

por lo que se necesitará realizar un plan de monitoreo y control de movimientos con su correspondiente seguimiento.

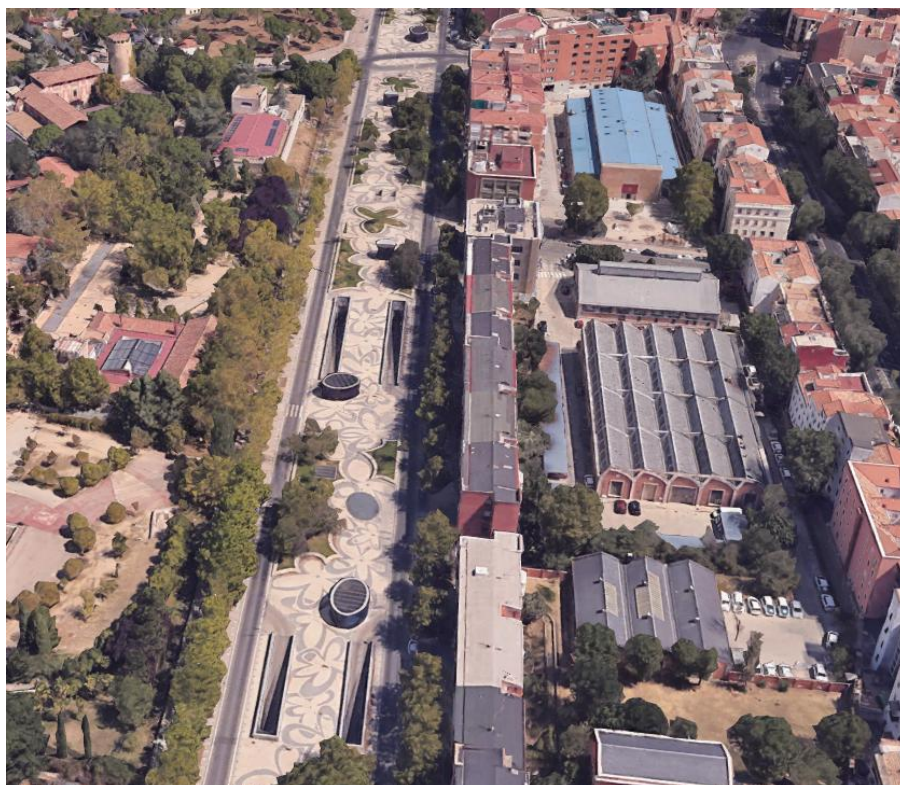
Por último, se adjunta una imagen del proceso habitual de ejecución de un muro pantalla con una hidrofresa y un caso que actualmente se está ejecutando mediante el método Cut&Cover de similares características a efectos de diseño.



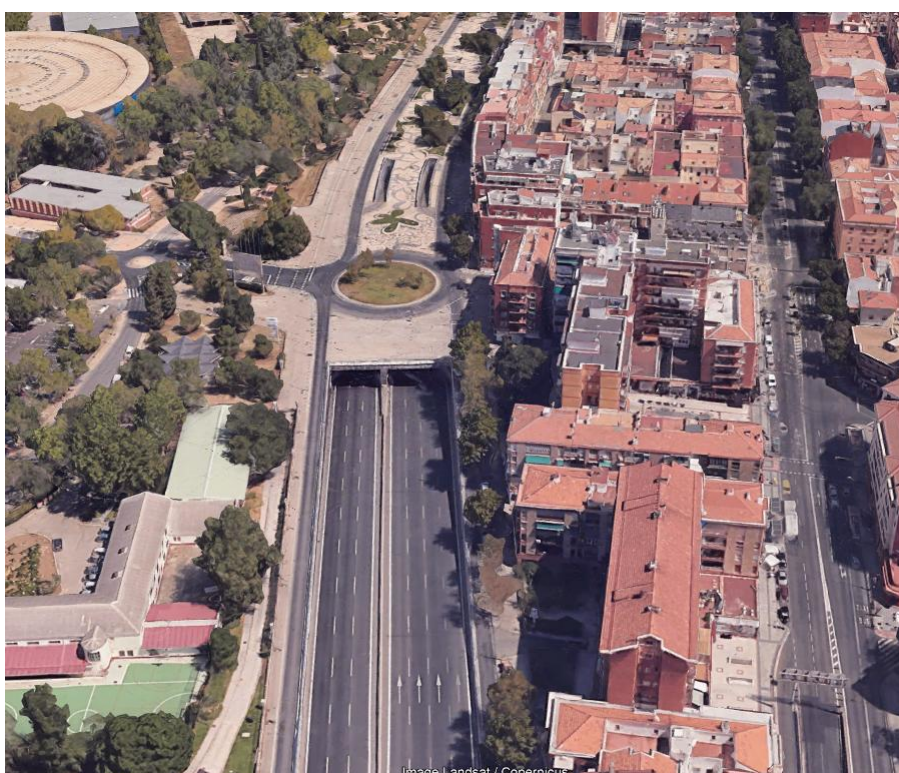
*Figura 4-18. Ejecución de pantalla mediante hidrofresa*



*Figura 4-19. Vista ejecución de losa superior Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025*



*Figura 4-20. Situación definitiva ejecución mediante Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025 (I)*



*Figura 4-21. Situación definitiva ejecución mediante Cut&Cover. Soterramiento Autovía A5 - Madrid. Año 2025 (II)*

### **4.3. Análisis comparativo y selección del método constructivo**

#### **4.3.1. Métodos constructivos seleccionables**

De todos los métodos constructivos descritos en el punto anterior, se estiman como plausibles el método NATM, la ejecución del túnel mediante tuneladora y de igual forma mediante Cut&Cover. El resto de los métodos (Método Belga y Alemán) no serían de aplicación en el presente estudio dado que no cumplen a priori los condicionantes para los que son aplicables.

#### **4.3.2. Métodos constructivos propuestos**

A continuación, se describirán las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos seleccionables, explicados con detalle en puntos anteriores del presente informe:

##### ■ Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.):

Ventajas:

- Bajo impacto superficial. No interrumpe la actividad en superficie ni afecta a las instalaciones, con la salvedad de las deformaciones que se puedan inducir por la construcción del túnel.
- Más flexible en trazado. Permite adaptarse a geometrías complejas.
- Adaptabilidad al terreno. Permite ajustar el sostenimiento según las condiciones geológicas encontradas durante la excavación, ante cambios en la geología del frente de excavación.
- Coste potencialmente menor. En terrenos favorables, suele ser más económico que métodos mecanizados como la tuneladora.
- Control de deformaciones. El monitoreo continuo permite controlar y aprovechar las deformaciones del terreno para estabilizar el túnel.
- Flexibilidad de diseño. Se puede aplicar a secciones variables y formas irregulares, útil en túneles con bifurcaciones o estaciones subterráneas.
- Menor necesidad de maquinaria pesada. Puede realizarse con equipos más ligeros, lo que facilita su uso en zonas de difícil acceso.

Desventajas:

- Mayor coste y plazo. A priori requiere mayor plazo y coste que el método mediante Cut&Cover.
- Mayor complejidad técnica: exige maquinaria especializada y personal capacitado en el área de obras subterráneas.
- Posible necesidad de voladuras en zona urbana según propiedades de las rocas a excavar.
- Mayor riesgo en terrenos inestables. En suelos blandos o con presencia de agua, puede ser más peligroso y requerir de refuerzos adicionales.

- Bajo rendimiento. En función de los terrenos a atravesar, la excavación y sostenimiento puede requerir que se ejecute por fases, lo cual puede ralentizar el rendimiento de obra.
- Mayor dependencia del personal técnico. Requiere supervisión constante y decisiones en tiempo real por parte de ingenieros geotécnicos experimentados.
- Condiciones de trabajo más exigentes. Puede implicar más exposición del personal a zonas inestables durante la excavación.
- Impacto en superficie si no se controla correctamente la ejecución. Si no se gestiona adecuadamente, puede generar asentamientos en superficie, especialmente en zonas urbanas.
- Necesidad de profundizar las estaciones para poder obtener entre 1,5-2 diámetros de cobertera como dimensión aconsejable. Esto puede generar niveles intermedios de apuntalamiento debido a la profundidad en las paradas/estaciones que no son necesarios en la solución mediante el método Cut&Cover.
- Salidas de emergencia profundas.

#### ■ Tuneladora:

##### Ventajas:

- Sin impacto en la superficie a lo largo de la traza. Ejecutado de forma correcta la tuneladora no genera afecciones en superficie o estas pueden considerarse como mínimas.
- Minimiza el riesgo de asentamientos del terreno que podrían afectar edificios cercanos, controlando la presión en el frente de excavación, según los terrenos a atravesar.
- Alta precisión en la ejecución de las obras, bajo el control de especialistas.
- Las tuneladoras permiten trazar trayectorias complejas con gran exactitud, ideal para entornos urbanos densos.
- Una vez en funcionamiento y con los ajustes necesarios iniciales, la tuneladora puede avanzar de forma continua con altos rendimientos, lo que mejora la eficiencia en grandes longitudes.

##### Desventajas:

- Inversión inicial considerable para la fabricación de la tuneladora. No se llega a amortizar para tramos de poca longitud.
- Para la adquisición, transporte y montaje de una tuneladora no sólo se requiere de una alta inversión inicial, sino que se debe considerar un plazo especialmente alto, sobre todo para proyectos de poca longitud (<4 km). Tiempo estimado de fabricación de tuneladora no menor a 1 año.

- Requiere planificación detallada, construcción de pozos de ataque y salida (con el impacto que generan los citados pozos en superficie en un entorno urbano), y logística compleja.
- Limitaciones geológicas. En el caso de atravesar suelos heterogéneos añade complejidad a la elección y fabricación de la tuneladora, lo cual puede conllevar mayor inversión inicial en la fabricación de la misma por necesidad de contemplar especificaciones concretas según el terreno existente a lo largo de la traza.
- Alta especialización para el manejo y mantenimiento de la tuneladora.
- En el caso de un fallo mecánico en el funcionamiento de la tuneladora, las reparaciones pueden ser complicadas, impactando en plazo y costes.
- Necesidad de espacio en superficie para pozos de ataque o implantación de la tuneladora de grandes dimensiones (aprox. 20.000 m<sup>2</sup> dependiendo del tipo de tuneladora a aplicar) y pozo de salida para el desmontaje y extracción de la máquina (aprox 5.000 m<sup>2</sup>). Por ende, se necesitan áreas de grandes dimensiones, lo que puede ser un reto en zonas densamente urbanizadas.
- Necesidad de profundizar las estaciones para poder obtener entre 1,5-2 diámetros de cobertera como dimensión aconsejable. Esto puede generar niveles intermedios de apuntalamiento debido a la profundidad en las paradas/estaciones que no son necesarios en la solución mediante el método Cut&Cover.
- Salidas de emergencia profundas.

#### ■ Método Cut&Cover:

##### Ventajas:

- Bajo coste: suele ser más económico en términos de materiales y maquinaria.
- Plazo más corto: ejecución más rápida, especialmente en suelos blandos.
- Método sencillo: tecnología convencional y ampliamente disponible.
- Posibilidad de ejecución por partes, afectando parcialmente por tramos en función de los desvíos de tráfico posibles, planificados a su vez considerando el calendario a conveniencia de los intereses sociales.
- Facilita rápidamente el tráfico por encima una vez ejecutada la losa superior (top-down).
- Económico para túneles poco profundos. Este método es competitivo para profundidades entre 10-12 m. Menores costes que métodos como tuneladoras o NATM cuando el túnel está cerca de la superficie.
- Construcción rápida por tramos. Permite avanzar por secciones y con equipos convencionales de obra civil. Posibilidad de implementar tantos equipos de trabajo de forma simultánea como se considere razonable y posible.
- Gran adaptabilidad o versatilidad. Se pueden construir secciones de túnel de formas y tamaños variados con facilidad, adaptándose a las necesidades funcionales en cada momento.

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

- Accesibilidad para instalaciones. Facilita la colocación de servicios (drenaje, ventilación, cableado) durante la construcción.
- Salidas de emergencia poco profundas.

#### Desventajas:

- Alto impacto e interrupción de superficie: afecta el tráfico, comercio, servicios y actividad urbana durante la obra.
- Reposición de superficie. Implica costes adicionales para el desvío de servicios afectados.
- Limitado por profundidad. No es competitivo si la profundidad es elevada.
- Mayor riesgo de interferencias. Necesidad de estudio pormenorizado de los servicios que puedan verse afectados. Igualmente podría darse el caso de interferir con cimentaciones o arqueología urbana.
- Condiciones ambientales adversas. Impacto ambiental alto en relación con la afección a las personas durante la ejecución de las obras por la ocupación temporal del espacio urbano.
- En zonas con nivel freático alto o suelos inestables, puede requerir sistemas de contención y drenaje costosos.

## 5. Instalaciones de Seguridad

El presente epígrafe tiene por objeto determinar las instalaciones necesarias en el soterramiento entre Plaza de Independencia y el intercambiador Tres Cruces para dotar al túnel de los Requisitos mínimos de Seguridad. Dado que no existe normativa de aplicación al respecto, se toma como referencia la normativa española y europea, en concreto el Real Decreto 635/2006 sobre Requisitos Mínimos de Seguridad en los Túneles de Carreteras del Estado, en la cual se establece una serie de categorías para decidir las necesidades de equipamiento requeridas para cada túnel. Estas categorías dependen de los siguientes parámetros:

- Tipo de tráfico: unidireccional o bidireccional.
- Longitud del túnel.
- Intensidad media de tráfico diario por carril.
- Entorno: urbano o interurbano.

Para ello, se identificarán aquellos equipamientos y medidas de infraestructura exigidos por la normativa.

### 5.1. Caracterización

Las características del soterramiento son las siguientes:

- Tipo de tráfico: bidireccional.
- Longitud: 3.738,06 m.
- Intensidad de tráfico por carril igual o inferior a 1.000 veh/día.
- Entorno: urbano.

En consecuencia y ante la ausencia de normativa nacional, el soterramiento entre Plaza de Independencia y el intercambiador Tres Cruces se encuentra clasificado dentro del apartado 2.21.2.1.2 del Real Decreto 635/2006, “Túneles de longitud mayor que 1.000 metros con una IMD por carril igual o inferior a 1.000 veh/día”. Las necesidades mínimas de equipamiento correspondientes a esta categoría son las siguientes:

- Aceras.
- Salidas de emergencia.
- Drenaje de líquidos tóxicos.
- Iluminación normal.
- Iluminación de seguridad.
- Iluminación de emergencia.
- Ventilación.
- Suministro eléctrico.
- Generadores de emergencia.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
- Detectores de CO.

- Opacímetros.
- Cable para detección de incendios.
- Puestos de emergencia.
- Señalización salidas y equipamientos de emergencia.
- Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC.
- Barreras exteriores.
- Semáforos exteriores.
- Megafonía.
- Red de hidrantes.
- Aforadores.
- Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan).
- Centro de control.
- Circuito cerrado de TV.
- Sistema informático de extracción de humos, automático y manual.
- Detección automática de incidentes.
- Paneles de señalización variable.

## **5.2. Descripción instalaciones en el soterramiento**

Teniendo en cuenta los requisitos establecidos en el RD 635/2006 las instalaciones a proyectar en el soterramiento son las siguientes:

### **5.2.1. Aceras**

En los túneles nuevos sin carril de emergencia, se habilitarán aceras, preferentemente elevadas, para que los usuarios del túnel las empleen en caso de avería o accidente.

### **5.2.2. Salidas de emergencia**

Las salidas de emergencia permitirán a los usuarios del túnel utilizarlas para abandonar el citado túnel y llegar a un lugar seguro en caso de accidente o incendio y también proporcionarán acceso a pie a los servicios de emergencia del túnel.

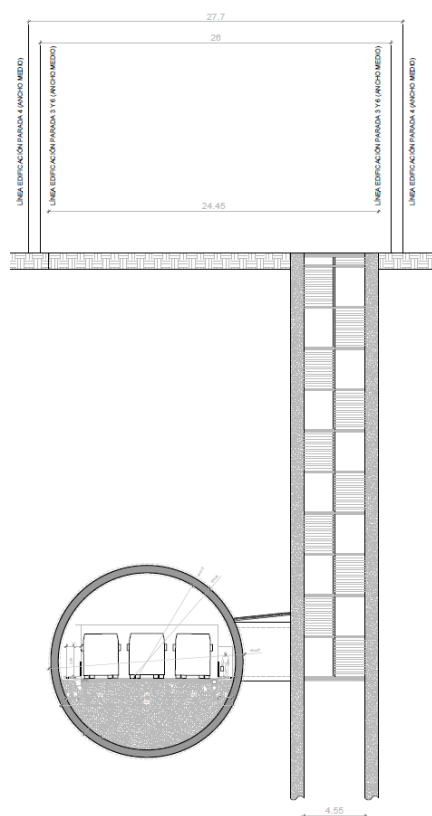


Figura 5-1. Esquema de salida de emergencia. Tuneladora

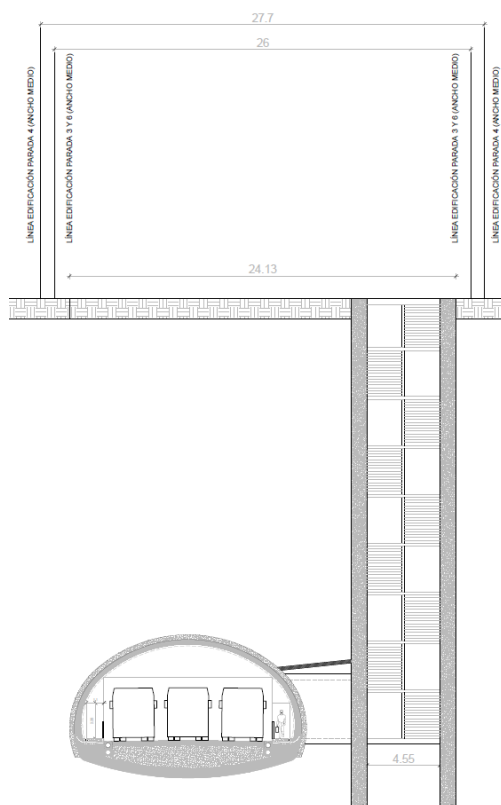


Figura 5-2. Esquema de salida de emergencia. NATM

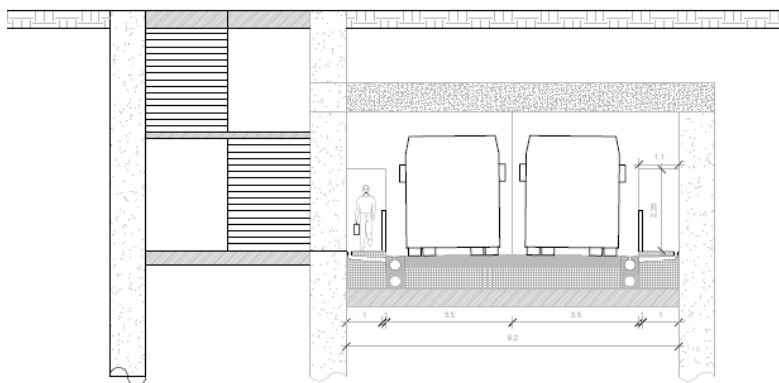


Figura 5-3. Esquema de salida de emergencia. C&C (somero)

En cuanto a la disposición de salidas de emergencia:

- La normativa española para túneles de carreteras (la cual se ha utilizado para definir las instalaciones de seguridad en túneles, según RD 635/2006) establece que:  
*“2.5.6 En túneles bidireccionales, cuando se habiliten salidas de emergencia, éstas se dispondrán cada 400 metros en los túneles interurbanos sin retenciones y cada 150 metros en los túneles urbanos y en los interurbanos en los que se produzcan retenciones al menos 5 días al año y no dispongan de control de accesos”.*
- La normativa peruana, en concreto el MANUAL DE CARRETERAS: TÚNELES, MUROS Y OBRAS COMPLEMENTARIA R.D. N° 36-2016-MTC/14, recomienda la disposición de salidas de emergencia entre 400 y 500 m.
- La NFPA 502 *Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways de 2017* indica que la distancia entre las salidas de emergencia no debe exceder de 300 m.

Por tanto, la disposición de salidas de emergencia que se plantea en el presente estudio es cada 400 m, teniendo en cuenta la geometría del túnel, la existencia de paradas intermedias y dado el tipo de vehículos que está previsto que circulen por el túnel (tráfico exclusivo de autobuses eléctricos). En etapas posteriores del proyecto se deberá realizar un Análisis de Riesgos que valide esta solución.

Aplicando el criterio anterior, se deberán disponer salidas de emergencia en:

DISTANCIA ENTRE PARADAS			SALIDA DE EMERGENCIA
Superficie	261	Parada 1	NO
Parada 1	193,29	Parada 2	NO
Parada 2	399,18	Parada 3	NO
Parada 3	487,26	Parada 4	SI
Parada 4	549,55	Parada 5	SI
Parada 5	511	Parada 6	SI
Parada 6	509,36	Salida a Superficie	SI

Tabla 5-1 Salidas de Emergencia

**Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
 Agosto 2025.

### **5.2.3. Drenaje de líquidos tóxicos**

El sistema de drenaje deberá diseñarse y mantenerse de manera que se evite que el fuego y los líquidos inflamables y tóxicos se propaguen dentro del tubo.

### **5.2.4. Iluminación normal**

Asegurará a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche en la entrada del túnel, en las zonas de transición y en la parte central.

### **5.2.5. Iluminación de seguridad**

Permitirá una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos en caso de avería del suministro de energía eléctrica.

### **5.2.6. Iluminación de emergencia**

Se planteará un alumbrado de emergencia a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie con un mínimo de 10 lux y 0,2 cd/m<sup>2</sup>.

### **5.2.7. Ventilación**

En situación de incendio se procede de manera que se tenga en consideración que, en los primeros minutos de incendio, y si no hay fuerzas que lo modifiquen, el humo invade de forma natural la parte superior de la sección, y de igual forma a ambos lados.

En situación de emergencia por fuego se busca que el aire viciado no invada la zona de evacuación de personas. En el caso del presente estudio, se persigue el confinamiento del humo entre el punto en el que tiene lugar el incendio y una de las bocas del túnel.

De forma general, el sistema de ventilación deberá tener en cuenta: el control de los contaminantes emitidos por los vehículos de carretera en un flujo de tráfico normal y denso, el control de los contaminantes emitidos por vehículos de carretera en el caso de que el tráfico esté detenido a causa de un incidente o accidente y el control del calor y el humo en caso de incendio. Esto deberá adecuarse a los autobuses eléctricos planteados y a los contaminantes que se puedan emitir.

### **5.2.8. Suministro eléctrico**

Atendiendo a lo recogido en el RD 635/2006, apartado 2.21, es necesario dotar al túnel de un suministro eléctrico y de grupos electrógenos, así como de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).

Se realizará previamente un análisis de consumos (balance de potencias) que permita conocer la capacidad de los equipos existentes en la actualidad en relación con la máxima potencia necesaria prevista para dar soporte a las actuaciones proyectadas.

Para ello se tendrá en cuenta el consumo de las cargas tanto en arranque como en funcionamiento continuo, así como la simultaneidad de las mismas.

#### **5.2.9. Generadores de emergencia**

Los grupos electrógenos deben poder cubrir la iluminación de emergencia, los sistemas informáticos y la ventilación en modo degradado.

#### **5.2.10. Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)**

De forma adicional, el túnel contará con SAI que permita cubrir los servicios mínimos de suministro en caso de fallo en la red eléctrica.

#### **5.2.11. Detectores de CO**

Para la detección de CO y NO<sub>2</sub> se instalarán sensores electroquímicos. Es un sistema basado en la medición de la concentración de esos gases mediante la aspiración del aire del túnel que lo lleva hasta una cámara analizadora que da como salida la concentración de CO y NO<sub>2</sub> del gas aspirado. Dentro de la cámara que tiene dos electrodos se producen reacciones electroquímicas. La concentración de los gases influye sobre la corriente eléctrica entre los electrodos variando la corriente. Estos detectores enviarán la información al PLC, que está conectado a un switch, y desde éste, se envía por la red de comunicaciones al Centro de Control.

#### **5.2.12. Opacímetros**

Los opacímetros tienen por objeto medir la cantidad de partículas sólidas en suspensión en el aire.

Para medir la calidad del aire de los distintos tramos en el interior del túnel se situarán los opacímetros a una altura comprendida entre 3,5 m y 4,5 m sobre la acera.

Desde cada caja de conexión saldrá un cable de 3 x 1,5 mm<sup>2</sup> que conectará con la fuente de alimentación de 12 a 30 Vcc y con el concentrador de señal de los puntos de muestreo común a los sensores de gas. El concentrador de señal se conectará al bus RS 485 que conecta con el PLC correspondiente.

#### **5.2.13. Cable para detección de incendios**

En el túnel se proyectará la instalación de un sistema de detección de incendios mediante cable sensor libre de halógenos y no propagador de llama. Este cable está formado en su interior por pequeños circuitos híbridos que detectan un aumento de la temperatura.

El cable sensor se instalará en la clave del tubo.

#### **5.2.14. Puestos de emergencia**

Será necesario contemplar en el proyecto los puestos de emergencia del interior del túnel con dos extintores y un teléfono a una distancia no superior a 250 m según el apartado 2.12 del RD 635/2006.

### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

### **5.2.15. Señalización salidas y equipamientos de emergencia**

Se proyectará la señalización de evacuación en ambos hastiales para cumplir las exigencias del RD 635/2006.

Cada 25 metros se instalarán conjuntos de señales fotoluminiscentes detallando la presencia de salidas de emergencia. Dichos pictogramas indicarán la distancia más próxima a la salida de emergencia, tanto en el sentido de la marcha como en el contrario. Se dispondrán a una altura de 1,5 metros sobre la acera de evacuación.

Además, se proyecta señalización de evacuación en puertas y galerías de emergencia, y señalización de los puestos de emergencia, con los indicativos de teléfono, extintor y de distancia y sentido al puesto de emergencia más cercano.

### **5.2.16. Señalización según Norma 8.1 y 8.2 IC (norma española)**

Se definirán las señales y símbolos de aplicación al soterramiento objeto de estudio. Su descripción figura en el Convenio de Viena sobre señalización vial de 1968 y demás normativa vigente en materia de señalización de carreteras y circulación, salvo que se indique lo contrario.

Se utilizarán señales viales para identificar los siguientes equipos de seguridad de los túneles:

- Apartaderos.
- Salidas de emergencia: se utilizará la misma señal para todos los tipos de salidas de emergencia.
- Vías de evacuación: las dos salidas de emergencia más próximas estarán señalizadas en las paredes a distancias no superiores a 25 m, y a una altura de entre 1,0 y 1,5 metros por encima del nivel de la vía de evacuación, con indicación de las distancias que hay hasta las salidas.
- Puestos de emergencia: señales que indiquen la presencia de teléfonos de emergencia y extintores.
- Radio: en los túneles en los que se pueda recibir información a través de la radio, se indicará a los usuarios antes de la entrada, mediante los signos adecuados, cómo se puede recibir esta información.

Las señales e indicaciones se diseñarán y situarán de modo que sean claramente visibles.

### **5.2.17. Barreras y semáforos exteriores**

Se instalarán semáforos y barreras antes de las entradas, con los pertinentes preavisos, a suficiente distancia para que la detención se efectúe sin riesgo para la seguridad y sin obstaculizar el acceso de los vehículos de emergencia y de forma que el túnel pueda cerrarse al tráfico en caso de emergencia.

### **5.2.18. Megafonía**

Se instalará un sistema de megafonía para reproducir la señal sonora a lo largo del soterramiento, así como en las salidas de emergencia.

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

Los altavoces deben ser colocados regularmente sobre el área a sonarizar para evitar zonas con alto nivel de salida, que provocarían molestias al oyente en las proximidades de los altavoces. También se deben evitar zonas con poco nivel. Cuando el sistema se aplique a la reproducción de la palabra debe asegurarse la inteligibilidad para una buena comprensión del mensaje.

#### **5.2.19. Red de hidrantes**

El túnel contará con una red de hidrantes, ubicándose los hidrantes cerca de la entrada y en el interior, a intervalos no superiores a 250 metros. Si no se dispusiese de red de suministro de agua, será obligatorio disponer de otro tipo de abastecimiento propio.

El caudal y la presión de la instalación deberán cumplir lo recogido en la Norma de incendios de aplicación.

#### **5.2.20. Aforadores**

Se proyectarán aforadores que permitan el registro automático del tráfico en todos los carriles del túnel.

#### **5.2.21. Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios (cuando existan)**

Se proyectarán equipos de transmisión por radio para su utilización por los servicios de emergencia.

Asimismo, se proyectará un sistema de mensajería por canales de radio para usuarios, por lo que se completa el sistema de radiocomunicaciones mediante la inclusión de este sistema. Para ello se instalará la consola de inserción de mensajes de emergencia en los canales de FM en el Centro de Control, la cual es controlada por el operador. En el local técnico del túnel se instalará un amplificador FM y una antena FM mediante los cuales se emitirán los mensajes de emergencia a los usuarios en los canales de FM.

#### **5.2.22. Centro de control**

Se proyecta un sistema de control y supervisión de equipamiento para el Centro de Control que permitirá migrar el control de los equipos de los túneles que están bajo su dependencia desde el actual sistema existente a dicha plataforma.

Esta plataforma estará diseñada de forma flexible y escalable de manera que será posible modificarla a futuro para integrar y controlar modificaciones en el sistema del túnel. Así mismo, deberá ser un sistema estándar y abierto, e independiente del proveedor original de la solución.

La solución propuesta permite controlar y monitorizar las instalaciones de los túneles, mediante un sistema SCADA. Incluye una Interfaz gráfica de usuario y un conjunto completo de herramientas que permiten al operador que está en el centro de control realizar la gestión y monitorización de los túneles y sus accesos.

La nueva solución cumplirá, al menos, con los siguientes requisitos:

- Integrará todos los túneles dependientes actualmente.

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

- Estará preparada para ser modificada de una forma sencilla y consistente minimizando los riesgos y los tiempos necesarios.

La plataforma permitirá la monitorización, gestión y control de los siguientes sistemas mecánicos y eléctricos, incluyendo:

- Sistemas mecánicos y eléctricos de la infraestructura.
- Sistemas mecánicos y eléctricos de los edificios.
- Sistemas de Vigilancia y Control del Tráfico, tanto en el interior de los túneles como en los accesos a los mismos y las carreteras y autovías dentro del ámbito del proyecto.
- Sistemas de aforos.
- Sistemas de condiciones climatológicas.
- Sistemas de Comunicaciones.

La plataforma será manejada a través de un interfaz gráfico de usuario integrado, que proporcionará una presentación clara y lógica de la disposición de la infraestructura mostrando información en tiempo real de eventos e incidentes que sucederán en la infraestructura, para permitir que el operador pueda navegar por la información y tomar rápidamente las medidas adecuadas para minimizar las consecuencias de los incidentes detectados.

#### **5.2.23. Circuito cerrado de TV**

El sistema de CCTV estará formado por cámaras IP móviles día/noche instaladas en las bocas de entrada y salida del túnel, y cámaras fijas que se ubican en el interior de cada tubo del túnel, protegidas con sus correspondientes carcasas para exterior. Estas cámaras están conectadas al centro de control mediante una red de comunicaciones, desde el cual se podrán visualizar las imágenes captadas por las mismas.

Las salidas de emergencia también contarán con un sistema CCTV.

#### **5.2.24. Sistema informático de extracción de humos, automático y manual**

El soterramiento contará con un sistema de ventilación y equipamiento informático de extracción de humos.

En las salidas de emergencia se proyectará un sistema de presurización que permita asegurar que dicho recinto queda libre de humos durante la evacuación de personas en caso de incendio en túnel.

#### **5.2.25. Detección automática de incidentes**

Como complemento a la instalación de CCTV y con el fin de mejorar la seguridad dentro del túnel, se proyectará un sistema de detección automático de incidencias (DAI) mediante procesamiento de imágenes, utilizando la señal de CCTV.

Para la detección por vídeo, el sistema contará con una serie de cámaras instaladas a lo largo del soterramiento. A continuación, se instalarán los módulos de procesamiento de imágenes de vídeo o analizadores cuya función es analizar la señal de vídeo. Estos analizadores se podrán

#### **Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo**

Estudio Viabilidad Soterramiento BRT. Banco de desarrollo de América Latina y el Caribe.  
Agosto 2025.

ubicar tanto en campo, como podría ser en los racks instalados en los cuartos técnicos del túnel o en las galerías, así como en el Centro de Control. Esta información/imágenes/video de cada uno de los módulos analizadores se transferirá a través de la red IP al servidor. El software establecerá una comunicación con el servidor para verificar que todos los datos, alarmas y eventos de tráfico están disponibles dentro del centro de control. De esta manera, el operador podrá acceder a la información sobre alarmas o secuencias de vídeo.

#### 5.2.26. Paneles de señalización variable

Se proyectarán Paneles de Mensajería Variable (PMV) para mostrar información a los conductores y pasajeros en tiempo real, colocándose en la entrada o salida del soterramiento. Estos paneles utilizarán tecnología LED para mostrar mensajes y gráficos en una pantalla.

#### 5.2.27. Estimación valoración económica de Instalaciones de Seguridad en Túneles.

Considerando que el túnel dispone de todas las instalaciones anteriormente señaladas, un precio de ejecución material aproximado sería 6.800 €/metro lineal. Aunque este valor a priori puede aplicarse a todas las combinaciones, deberá estudiarse con mayor profundidad la aplicación de cada una de las instalaciones incluidas en el presente capítulo.

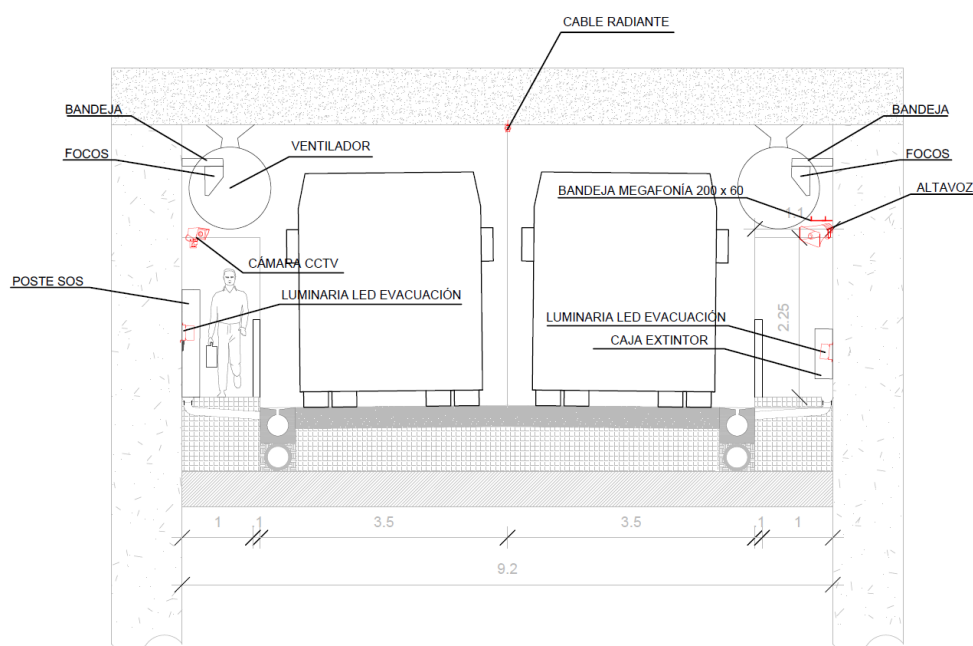


Figura 5-4. Ejemplo de algunas instalaciones de Seguridad en Túnele

## 6. Conclusiones

Como principal conclusión y como denominador común para las 3 alternativas seleccionables, cabe señalar que todas pueden ser opciones plausibles de ser llevadas a cabo desde un punto de vista de viabilidad técnica y a expensas de resolver las incertidumbres existentes en el momento de redacción del presente Estudio de Viabilidad.

No obstante, existen diferencias que hacen que unas alternativas sean más eficientes u óptimas que otras, en función de las variables estudiadas. De igual forma es necesario señalar que etapas como pueden ser, a modo de ejemplo, la operación de la infraestructura, el mantenimiento o el análisis pormenorizado del funcionamiento de las paradas (estudio de flujos de personas, layout de arquitectura, entre otros), no han sido conceptos o variables incluidos en el presente Estudio de Viabilidad.

Igualmente, precisar que es imprescindible realizar una campaña geotécnica intensiva que defina con total claridad la geología y geotecnia presente a lo largo de todo el recorrido, con el fin de poder confirmar y/o corregir el desarrollo del presente informe, que no hace más que marcar unos lineamientos generales para la posible toma de decisiones que ayuden a seguir adelante con el desarrollo del proyecto.

Analizados los antecedentes de los que se dispone en el momento de redacción del presente informe y en función de las puntuaciones obtenidas en base a las ponderaciones establecidas en la matriz de alternativas, existen dos métodos que parecen ser óptimos para el desarrollo del Proyecto, considerando este tipo de intervención en zona urbana:

- Método mediante C&C+NATM (Combinación 2).
- Método mediante Cut&Cover (Combinación 3). Óptimo en plazo y coste.

No obstante, con la prudencia que conlleva emitir una opinión al respecto, desde un enfoque únicamente de la ejecución de la obra civil para el soterramiento y, dadas las incertidumbres señaladas a lo largo del documento que deberán resolverse en etapas posteriores del proyecto, se estima que la solución que mejor se adaptaría a las condiciones de contorno establecidas sería la de aplicar el método mediante Cut&Cover (Combinación 3).

Como punto importante, hacer hincapié en que en el análisis de la alternativa A0 de túnel no se ha considerado la afección en superficie de las diferentes combinaciones, siendo este un aspecto no menor, dado que el análisis para esta alternativa se centró en la viabilidad de ejecución del soterramiento, lo cual queda ampliamente justificado como posible.

Será por tanto necesaria la suma de todos los estudios correspondientes para poder definir cuál de las alternativas de soterramiento se puede considerar como la más aconsejable y que abarque todos los enfoques y análisis necesarios en este tipo de toma de decisiones.

Por otro lado, esta conclusión acerca de la aplicación del método Cut&Cover (Combinación 3), no hace más que poner en valor experiencias internacionales que a día de la redacción del presente informe se están ejecutando en unas condiciones similares, donde se está aplicando la metodología señalada.

La sencillez de ejecución, tecnología convencional ampliamente disponible y, la posible tramificación y ejecución por tramos de esta alternativa, hacen que ésta sea versátil, rápida y con un coste razonable para el tipo de intervención en cuestión. Evidentemente sin obviar las interferencias que se producirán en superficie y las afecciones al entorno, que no son menores y conllevarán gran dedicación no sólo a nivel de desarrollo del proyecto de ejecución, sino a nivel de desarrollo de las obras, en caso de ser la alternativa señalada la finalmente elegida.