

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS .....	3
3.	OBJETO DEL ANTEPROYECTO .....	3
4.	CONDICIONANTES DE DISEÑO .....	4
4.1	PLANEAMIENTO .....	4
4.2	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA .....	5
4.3	EDIFICACIONES EXISTENTES Y PREVISTAS. ARQUEOLOGÍA .....	6
4.4	SERVICIOS E INSTALACIONES URBANAS .....	7
4.5	ZONAS VERDES .....	9
4.6	TRÁFICO Y MOVILIDAD .....	10
5.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS. ANÁLISIS MULTICRITERIO .....	14
6.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA .....	16
6.1	NORMATIVA DE REFERENCIA EN EL DISEÑO DEL TÚNEL .....	16
6.2	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA .....	17
6.3	GEOLOGIA, GEOTECNICA E HIDROGEOLOGIA .....	23
6.4	TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	26
6.5	HIDROLOGÍA Y DRENAJE .....	27
6.6	FIRMES .....	30
6.7	SALIDAS DE EMERGENCIA .....	30
7.	ORGANIZACIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS .....	31
8.	TRÁFICO Y MOVILIDAD .....	33
9.	INSTALACIONES DE TÚNEL .....	36
9.1	INSTALACIONES ELÉCTRICAS .....	37
9.2	ALUMBRADO .....	38

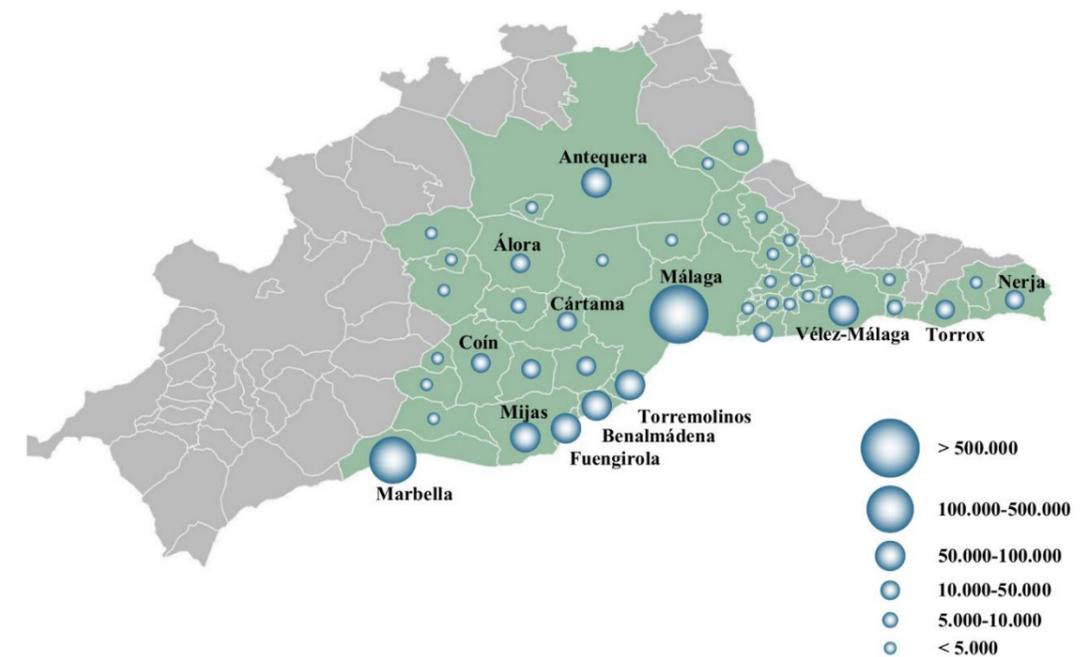
9.3	VENTILACIÓN.....	39	21.	CONCLUSIONES.....	59
9.4	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	41	22.	EQUIPO TÉCNICO .....	60
9.5	INSTALACIONES PARA LA GESTIÓN DEL TRÁFICO .....	42			
9.6	SISTEMA DE VÍDEO EN CIRCUITO CERRADO Y DAI.....	42			
9.7	COMUNICACIONES CON LOS USUARIOS .....	43			
9.8	CONTROL DE DATOS Y CENTRO DE CONTROL.....	43			
10.	ACCESIBILIDAD Y OPERATIVA DE EMERGENCIA .....	44			
11.	SOSTENIBILIDAD.....	45			
12.	EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	46			
13.	ACABADOS DEL TÚNEL.....	48			
14.	DISEÑO VISUAL DEL TÚNEL .....	49			
15.	ANÁLISIS DE RIESGO DEL TÚNEL.....	50			
15.1	INTRODUCCIÓN .....	50			
15.2	METODO GENERAL.....	51			
15.3	TUBO OBJETO DE ESTUDIO.....	51			
15.4	RESULTADOS .....	51			
16.	PLAN DE CONTINGENCIAS .....	52			
16.1	PLAN DE CONTIGENCIA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN .....	52			
16.2	PLAN DE CONTIGENCIA DURANTE LA EXPLOTACIÓN .....	52			
17.	SERVICIOS AFECTADOS.....	53			
18.	PROPUESTA DE URBANIZACIÓN.....	54			
18.1	INTRODUCCIÓN .....	54			
18.2	ACCESOS.....	55			
19.	PLAZO DE LAS OBRAS .....	57			
20.	PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE LAS OBRAS .....	57			

## MEMORIA

### 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Málaga, situada en la costa meridional mediterránea andaluza, es considerada como la capital de la Costa del Sol, desarrollando un papel crucial en toda la región costera. No sólo es un lugar importante por sí mismo, sino que también tiene una fuerte conexión con las áreas circundantes, especialmente gracias al auge del turismo a lo largo de su costa. La ciudad se convierte en un centro vital que impulsa la actividad y el desarrollo en toda la región que la rodea.

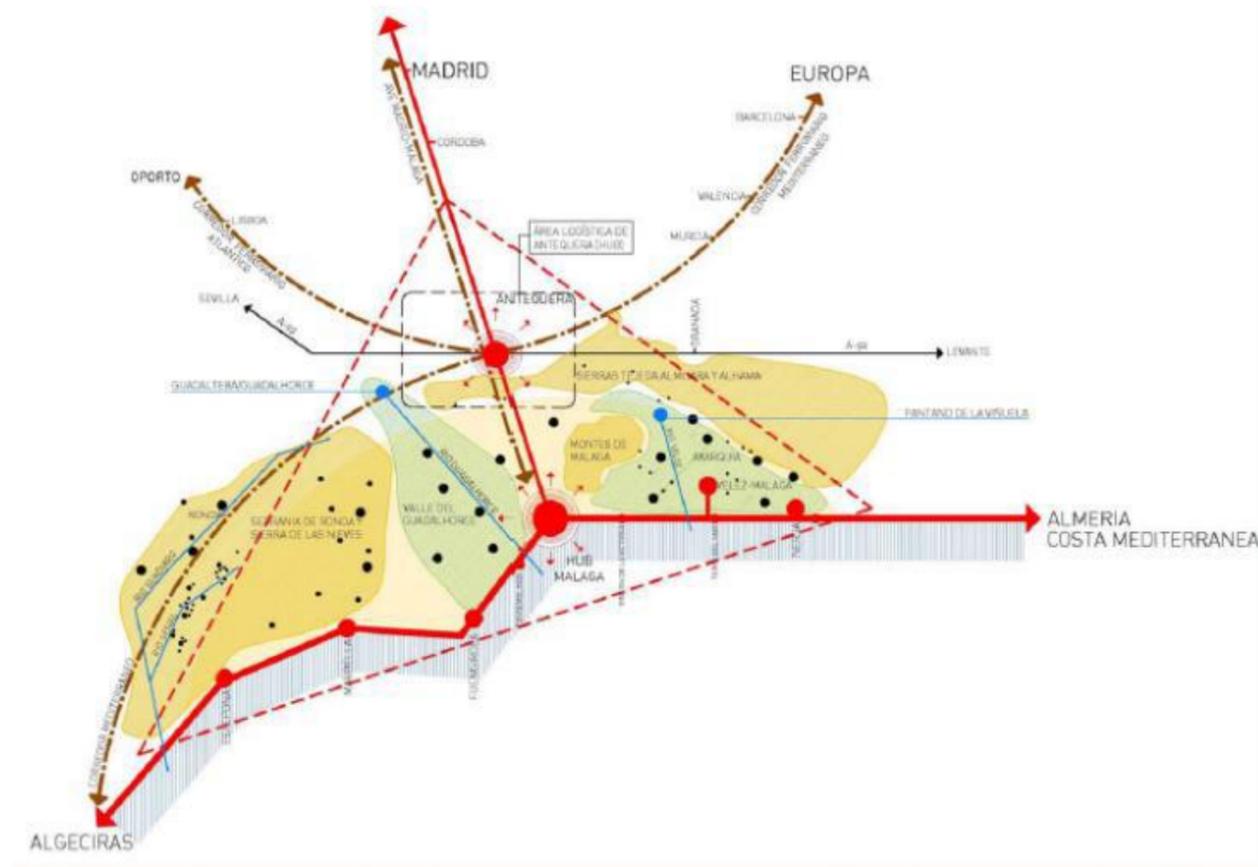
La provincia de Málaga cuenta con alrededor de 1,7 millones de personas de los cuales, aproximadamente 1,2 millones viven en las ciudades y pueblos a lo largo de toda la costa. Esto destaca la relevancia especial de la zona costera, ya que es donde se concentra la mayor parte de la población.



*Nueva área metropolitana ampliada. Fuente: Plan Málaga Litoral*

La ciudad de Málaga, con sus avanzadas red infraestructuras de transporte, se erige como un destacado epicentro de movilidad en el sur de la península ibérica. En este núcleo dinámico, la ciudad se destaca como el polo principal de un conjunto de elementos que facilitan el desplazamiento. Desde el Aeropuerto Internacional Málaga-Costa del Sol que conecta la ciudad con el mundo, hasta la moderna Estación de Alta Velocidad María Zambrano que permite

viajes rápidos en tren, pasando por la terminal de cruceros y la red de carreteras bien conectada, todos estos elementos forman un clúster integral que potencia la movilidad en la región. La ciudad de Málaga, con su posición central en este conjunto, se convierte en el motor que impulsa la eficiencia y accesibilidad de toda la red de transporte.



Nuevo concepto ciudad región. Fuente: Plan Málaga Litoral

En julio de 2021 el Ayuntamiento de Málaga presenta el Plan Málaga Litoral: un proyecto global de ciudad que integra urbanismo, transporte y medio ambiente. Este plan recoge un conjunto de actuaciones que con un área central que integra la ciudad con el puerto y el mar, con un nuevo sistema de autobuses metropolitanos (incluyendo 2 estaciones subterráneas), soterrando 2,3km del eje litoral e incorporando una plataforma Bus VAO. Todo ello sumará a la ciudad 65.000 m<sup>2</sup> de nuevos espacios de calidad para el peatón y zonas verdes, transformando el Centro, englobando la Malagueta y Perchel-María Zambrano.

El propósito de este Plan es mejorar la conexión entre las áreas metropolitanas, impulsando el uso del transporte público, asegurando una fácil movilidad en toda la región (a menos de una hora de Málaga). Se busca crear un

nuevo modelo de Ciudad-Región, destacando un corredor costero muy urbanizado donde Málaga actúa como centro de transporte para pasajeros y Antequera para mercancías. Para lograr esto, se prioriza fortalecer el sistema de transporte público metropolitano. También se planea una reorganización de los autobuses, promoviendo el uso del autobús metropolitano, actualizando una estación obsoleta como la de los Tilos y reubicando la estación del Muelle Heredia. Adicionalmente, se busca reforzar la conexión este-oeste a lo largo de la costa para reducir la congestión en el centro de la ciudad, promoviendo así el uso del transporte público en lugar del tráfico privado, que actualmente alcanza los 62.000 vehículos al día por el Centro.



Alternativas de conexión este-oeste

Finalmente, entre los objetivos del Plan Málaga Litoral se encuentra la implementación de la Agenda Urbana y el Plan del Clima. Esto implica una integración completa de la ciudad con el puerto y el mar, controlando el tráfico que atraviesa de este a oeste en el Área Central. Asimismo, se busca mejorar los espacios públicos y las áreas verdes, promoviendo la creación de un Área Central con bajas emisiones.

En el marco del Plan se prevé la construcción del Eje Litoral soterrado, un nuevo túnel de 2,3 kilómetros que discurre desde el río Guadalmedina hasta el paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso, soterrando el tráfico de la avda. Heredia, paseo de los Curas y avda. Cánovas en este tramo.

El Plan Málaga Litoral tiene su origen en los informes redactados por el ingeniero de caminos José P. Alba García y por el arquitecto Salvador Moreno Peralta a inicios del año 2019. A raíz de estos informes, el Ayuntamiento encarga una serie de estudios relacionados con las actuaciones allí propuestas para adecuar el área central de la ciudad a las necesidades actuales y previsibles en un futuro inmediato y solucionar las comunicaciones Oeste-Este entre los barrios ubicados a lo largo de la extensa fachada litoral del área urbana. Entre estos encargos se encuentra el “Estudio de alternativas de soterramiento en el tramo del Paseo de los Curas del Vial Litoral”, realizado por ARCS S.L. donde se realiza un análisis comparativo entre diferentes posibles soluciones de secciones-tipo de la citada vía soterrada, así como de posibles trazados alternativos bajo el Paseo del Parque o bajo el Paseo de los Curas. Asimismo, se desarrollan estudios relativos a las terminales de autobuses, a las demandas de movilidad y otros orientados a la mejor estructuración del Plan Málaga Litoral.



*Actuaciones en superficie previstas en el Plan Málaga Litoral*

En diciembre de 2020 el Ayuntamiento de Málaga encarga a ARCS S.L. la realización del “Estudio de Alternativas de Ordenación Vial del Eje Litoral Soterrado”, donde se analizan diversas alternativas para el Eje Litoral soterrado en lo concerniente al trazado y secciones-tipo, diseño de los viales en superficie, simulaciones de tráfico, infraestructuras urbanas e instalaciones, evaluación económica y de impactos del proyecto, estudio previo de los desvíos de tráfico a realizar durante las obras, estudio del posible desarrollo del Eje Litoral en fases y relación de la normativa a aplicar para el diseño del Eje Litoral soterrado. Este estudio finaliza en junio de 2021.

Con fecha 18 de abril de 2022, el Ayuntamiento de Málaga adjudica a ESTEYCO S.A. la redacción del “Anteproyecto del Eje Litoral soterrado en la ciudad de Málaga” donde se debe desarrollar a nivel de anteproyecto el nuevo túnel de acuerdo con los criterios establecidos en el Estudio de Alternativas y en el PPTP del contrato.

## 2. ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS

Durante el desarrollo de los trabajos de redacción del anteproyecto se han recopilado y analizado los siguientes estudios y proyectos previos relacionados con el Eje Litoral:

- El transporte público en Málaga. Estudio previo sobre intercambiadores modales (2003)
- Anteproyecto del eje litoral este. Paseo de los Curas a Paseo Marítimo Pablo Ruíz Picasso (2005)
- Anteproyecto Intercambiador de La Marina (2006)
- Anteproyecto de soterramiento de la Avenida Cánovas del Castillo (2008)
- Anteproyecto Intercambiador de la Explanada (2009)
- Proyecto de construcción del metro de Málaga. Tramo: Guadalmedina-Malagueta (2010)
- Plan Especial del Sistema General del Puerto de Málaga (2010)
- PGOU (2011)
- Informe sobre la articulación del transporte de viajeros metropolitanos e interurbanos y sus relaciones con la movilidad central de la ciudad de Málaga. (2019)
- Estudio urbanístico de las terminales de autobuses metropolitanos e interurbanos y su relación con la centralidad en la ciudad de Málaga propuesta de futuro.
- Estudio de alternativas de soterramiento en el tramo del Paseo de los Curas del Vial.
- Estudio de Alternativas de Ordenación Vial del Eje Litoral Soterrado (junio de 2021).

El estudio de dichos proyectos ha permitido establecer los principales condicionantes de diseño, así como ha aportado información relevante que han permitido desarrollar el túnel aquí proyectado.

## 3. OBJETO DEL ANTEPROYECTO

El Plan Málaga Litoral tiene como objetivo promover formas de movilidad más sostenibles como el transporte colectivo, peatonal y en bicicleta. Busca fortalecer y mejorar la calidad del centro de Málaga, desarrollar iniciativas para una ciudad más sostenible y adaptada al cambio climático, integrar de manera completa la ciudad con el Puerto y el mar, reducir el impacto del tráfico Este-Oeste en el Área Central, mejorar los espacios públicos y áreas verdes, y fomentar una zona central con bajas emisiones.

Para alcanzar estos objetivos, el plan se centra principalmente, aunque no exclusivamente, en el soterramiento del Eje Litoral. Esto implica enterrar parte de la infraestructura para mejorar la conectividad al mismo tiempo que se busca avanzar en la dirección de una ciudad más sostenible y habitable.

El Plan establece para este nuevo eje soterrado tres objetivos principales:

- Habilitar un acceso directo y rápido para los servicios de transporte interurbano de viajeros a las nuevas terminales previstas junto a la estación de ferrocarril María Zambrano y en Plaza de la Marina, en ambos casos subterráneas, contribuyendo así a facilitar y promover tales servicios de transporte público.
- Conectar los lugares clave del centro de la ciudad con las áreas portuarias ya renovadas, como los Muelles 1 y 2, así como con el litoral y las playas. Esto se logrará creando nuevas centralidades en el entorno de María Zambrano y La Malagueta. Se buscará la expansión de zonas verdes y espacios peatonales, eliminando completamente la "barrera" que actualmente dificulta la conexión fluida entre estos espacios urbanos centrales y la ciudad en general con el área litoral. En resumen, se busca integrar de manera más armoniosa el corazón de la ciudad con las áreas renovadas del puerto y las costas, generando nuevas zonas de interés y eliminando obstáculos visuales y físicos para una mejor conexión urbana.



*Propuesta de urbanización en superficie en el ámbito del Eje Litoral*

- Solucionar las comunicaciones internas Oeste-Este y viceversa entre los barrios ubicados próximos al Centro que han de atravesarlo para relacionarse entre sí como consecuencia de la especial configuración de la ciudad, muy condicionada por el relieve del terreno, y sin por ello favorecer el acceso a dicho Centro de los vehículos privados.

#### 4. CONDICIONANTES DE DISEÑO

El ámbito del anteproyecto es un área densa y compleja, en el corazón de Málaga, que presenta un gran desafío en su concepción y ejecución.

En una primera aproximación, como se puede apreciar en la imagen adjunta, se puede resumir los condicionantes generales del ámbito en una serie de limitaciones físicas originadas por su ubicación y por edificaciones e infraestructuras existentes; otras funcionales, en su relación con la ciudad, otros equipamientos y su servicio, y otras más administrativas, referente al planeamiento y la ordenación del territorio.



*Plano de ordenación del ámbito del proyecto recogido en el PGOU de Málaga*

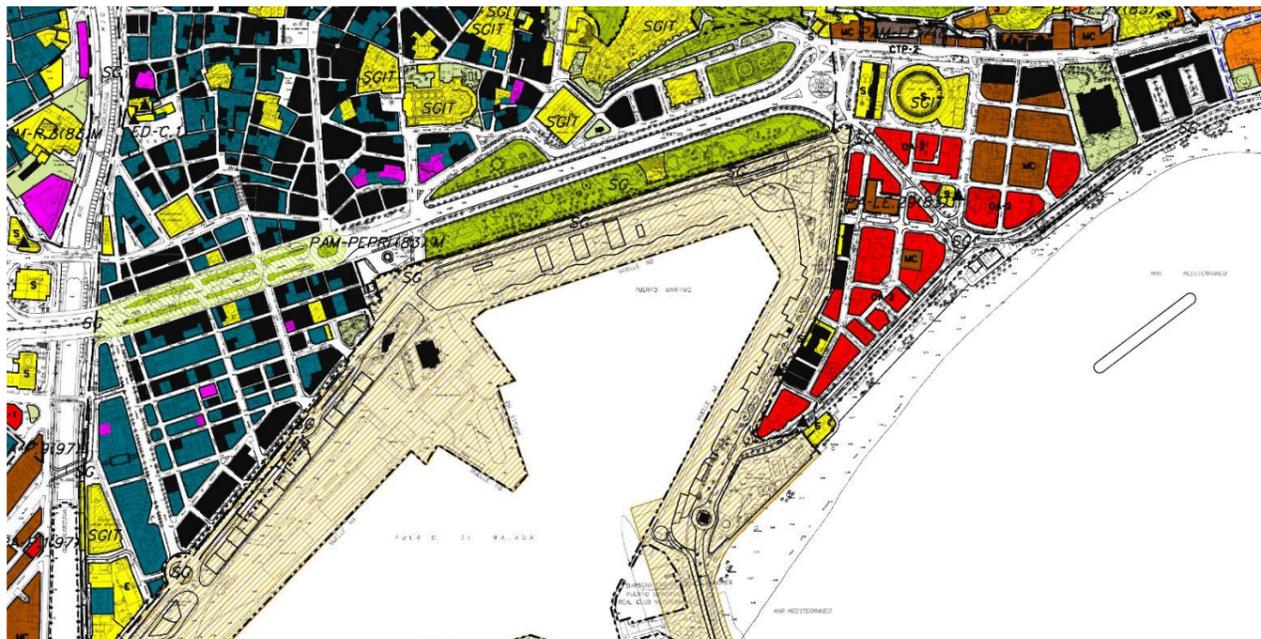
A continuación, se describen algunos de los que se han considerado más relevantes de cara a este trabajo.

##### 4.1 PLANEAMIENTO

El trazado del túnel debe respetar los requerimientos previstos en el Plan General de Ordenación Urbanística de Málaga, aprobado en julio 2011. En el plan general se califica como vía principal el itinerario vehicular que discurre por la avda. Heredia, paseo de los Curas, avda. Cánovas y el paseo Marítimo Pablo Ruiz Picasso, coincidente con el trazado del túnel proyectado.

El túnel se construirá en terrenos designados como parte del sistema general de carreteras, evitando así afectar áreas consideradas como protegidas según la planificación urbana. Sin embargo, es fundamental destacar que se tomarán medidas para prevenir la pérdida o daño de cualquier elemento crucial que forme parte de áreas especiales de interés.

El trazado del túnel no impacta en ninguna edificación catalogada según el PGOU como de protección arquitectónica a lo largo de su recorrido. Durante la fase de construcción en esta área, se asegurará que cualquier posible afectación indirecta derivada de la ejecución del túnel no represente riesgos para ninguna estructura cercana. Esto se logrará mediante la implementación de medidas preventivas y la utilización de dispositivos de auscultación que permitirán monitorear de cerca cualquier impacto de las obras en las zonas adyacentes.



Plan General de Ordenación Urbanística de Málaga

En este documento se ha tenido en cuenta el Plan Especial del Puerto de Málaga, aprobado en septiembre de 2010, ya que parte del trazado del eje litoral de Málaga discurre a lo largo del ámbito portuario, por lo que su diseño y conceptualización ha de ser compatible con los criterios establecidos en éste para asegurar continuidad y concordancia entre ambas infraestructuras.

El ámbito del Plan Especial se divide en tres zonas en función del uso general a la que cada una se destina.

- Zona I. Uso ciudadano.
- Zona II. Uso portuario.

- Zona III. Uso portuario - ciudadano.

Las zonas I (uso ciudadano) y III (uso ciudadano-portuario) son de libre acceso. La zona II (uso portuario) es de acceso restringido, limitado físicamente, para uso exclusivo portuario, según niveles de seguridad.

Parte del trazado del túnel, en los tramos que discurren por la avda. Heredia y el paseo de los Curas, se encuentra dentro del ámbito portuario, por lo que se debe tener en cuenta en su diseño los requerimientos recogidos en el Plan Especial del Sistema General del Puerto de Málaga. Concretamente éste establece en avda. Heredia un límite de uso portuario-ciudadano, situado a 45m. de la alineación de la fachada de los edificios existentes y en el paseo de los Curas se retranquea la alineación existente 2,70m. hacia el mar. La traza de las alternativas debe respetar estos límites.

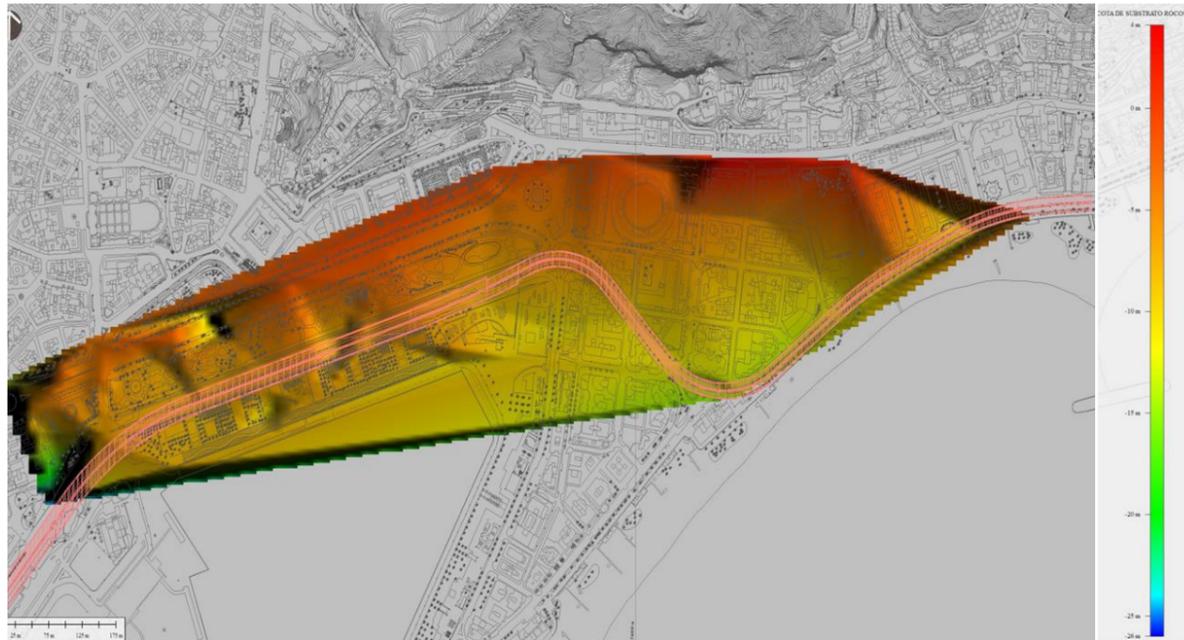
Fuera del ámbito portuario toda la traza del túnel discurre siempre por terrenos calificados como sistema general viario.

#### 4.2 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

El anteproyecto debe también considerar algunos condicionantes relacionados con la geotecnia e hidrogeología para poder definir el adecuado grado de seguridad tanto en fase de obra como a medio y largo plazo durante la vida útil de la estructura proyectada.

Entre los principales elementos considerados, destacan:

- La profundidad del estrato de rocas del complejo Maláguide: entre el Paseo Marítimo y el Paseo de los Curas, la profundidad oscila entre los 8 y los 14 metros. En la Avenida Heredia, el macizo rocoso se hunde bajo los sedimentos, entre 13-17 metros.
- Permeabilidad del estrato rocoso y la excavabilidad y rozabilidad de las rocas, con especial atención a la presencia de motas de escolleras antiguas enterradas que podrían dificultar la excavación de las pantallas.
- Subsidiencias y deformaciones en los edificios y estructuras colindantes a las obras.
- El nivel freático, con cota absoluta comprendida entre 0 y +1 m snm y la agresividad de las aguas freáticas



*Mapa 3D generado por Esteyco con la profundidad de la roca del complejo Maláguide*

- El efecto barrera de las aguas freáticas. La construcción del túnel, dispuesto perpendicular al flujo natural de las aguas freáticas y subálveas, podría actuar como una barrera impermeable. Esto podría interrumpir parcial o totalmente el flujo, provocando un aumento del nivel freático aguas arriba del Eje Litoral. De no aplicarse medidas mitigadoras, podría causar problemas como filtraciones e inundaciones en estructuras enterradas próximas al nuevo túnel. Un punto crítico es el impacto en el Parque de Málaga, donde la subida del nivel freático podría sumergir las raíces de los árboles. Además, en el lado opuesto, podrían surgir problemas de subsidencia debido al descenso del nivel freático. Para abordar esta circunstancia se proyectarán medidas correctoras que eviten la afección al acuífero actual. Una de las principales soluciones implica la construcción de aberturas especiales en las pantallas del túnel, como portillos o almenados, así como la implementación de sifones, pozos y rebajes transversales en la losa superior del túnel. Estas estructuras se rellenarán con material drenante para permitir el paso natural de las aguas en el terreno.

Es crucial subrayar que los efectos negativos asociados al fenómeno de la barrera han sido exhaustivamente investigados. Se proponen soluciones y técnicas bien establecidas que permiten reducir estos impactos y supervisar constantemente los niveles piezométricos a ambos lados del túnel para detectar y prevenir su ocurrencia. Por lo tanto, llevar a cabo la ejecución del proyecto, una vez que se ha identificado la posibilidad de que surjan estos problemas, no representa ningún riesgo, ya que se cuenta con conocimientos sólidos y estrategias probadas para gestionarlos de manera efectiva.

Toda la información detallada sobre las consecuencias de este se puede consultar en el anejo 14 de Tratamiento de agua subterránea.

#### 4.3 EDIFICACIONES EXISTENTES Y PREVISTAS. ARQUEOLOGÍA

Se han identificado las diferentes edificaciones protegidas y zona de especial interés arqueológico en el ámbito de la actuación según lo reflejado en el PGOU y en el informe realizado por el Taller de Investigaciones Arqueológicas S.L. encargado por el Ayuntamiento. Este informe se incluye en el Anejo nº 6 del presente documento.

También se ha realizado un inventario de edificaciones adyacentes a la traza del túnel. Este inventario se adjunta en el anejo número 5 del proyecto.

El trazado del túnel viene condicionado por la presencia a lo largo de la traza de diversos edificios que no pueden verse afectados por las obras, como son el edificio del Instituto de Estudios Portuarios, el restaurante Gutierrez Puerto, los edificios del Palmeral de las Sorpresas, el aparcamiento del Muelle 1 (museo Pompidou), y los diversos edificios situados en las calles por donde discurre el túnel. También se ha tenido en cuenta en el diseño del trazado del túnel la futura estación de autobuses de la plaza de la Marina o el futuro nuevo aparcamiento del Muelle 4 situado bajo la zona de uso portuario-ciudadano.



*Edificio del Instituto de Estudios Portuarios situado en la avda. Heredia. EL trazado del túnel se adapta en el ámbito del mismo para no afectarlo*

El trazado del túnel se adapta a la presencia de estos edificios, alejándose lo suficiente de la estructura de los mismos para poder acometer la obra con seguridad.

A nivel de movilidad el túnel se relaciona con barrios y edificaciones que ejercen un gran polo de atracción para los ciudadanos. A pocos centenares de metros de la boca oeste se encuentra la estación del AVE y el futuro intercambiador de autobuses María Zambrano. También los barrios del SOHO, la Malagueta y el centro histórico de Málaga, que cuentan con un gran número de edificios administrativos, comerciales y de atracción turística, que condicionan la posición de los ramales de acceso y las bocas de entrada del túnel.

Asimismo, los ramales de salida y entrada al túnel en el entorno de la plaza Fuente Torrijos se han configurado para no afectar a la fuente de las tres Gracias y a los jardines del Hospital Noble en la solución finalmente elegida.

También se ha evitado afectar al parque de Málaga tanto por la estructura del propio túnel como por las actuaciones auxiliares que puedan derivarse de su construcción. Este parque ha sido propuesto por el Ayuntamiento de Málaga para ser declarado Bien de Interés Cultural.



*Edificaciones y núcleos de atracción en el ámbito de influencia del túnel*

El trazado del túnel prevé la conexión con la futura estación de autobuses de la Marina. Se ha diseñado la conexión de forma que esta se haga de forma directa desde el carril derecho en el túnel sentido O-E, al nivel de planta -1, y bajando la rasante del carril izquierdo BUS-VAO del túnel E-O para acceder a la estación directamente a la planta -2.

Se prevé también una conexión directa con el aparcamiento de rotación existente en el Muelle 1, que se realizará de forma directa desde el túnel O-E a la planta -2, debiéndose modificar la arquitectura interior del aparcamiento para acoger esta nueva rampa, anulándose el acceso desde superficie.

#### 4.4 SERVICIOS E INSTALACIONES URBANAS

El presente Anteproyecto analiza las afecciones que provoca el túnel sobre las diferentes redes de servicios. Se recoge en este anteproyecto un inventario de los servicios que pueden verse afectados, tanto por las actuaciones proyectadas directamente por la ejecución de las obras de soterramiento del eje litoral de Málaga, como las afecciones que pudieran generarse por actuaciones provisionales en el ámbito de la actuación.

La relación completa de servicios existentes y afecciones se detalla en el Anejo nº16 y en los planos correspondientes, incluyéndose a continuación únicamente una breve descripción, así como algún elemento reseñable.

##### Abastecimiento

Las principales afecciones a la red de tuberías de agua potable se producen en aquellas que en la actualidad cruzan con orientación Norte-Sur la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso estando las afecciones y cruzamientos concentrados básicamente en los enlaces existentes.

También se producen afecciones relevantes a tramos de tuberías que discurren longitudinalmente bajo la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso.

Estas redes son titularidad fundamentalmente de EMASA.

También se ve afectada la tubería de abastecimiento de la Viñuela, de 1000mm. de diámetro a su paso por la Malagueta y el paseo Marítimo. Esta tubería es propiedad de la Junta de Andalucía.

##### Saneamiento

Todo el ámbito de actuación se encuentra situada en la cuenca del río Guadalmedina y en las cuencas de los arroyos de los montes de Málaga, siendo la red de saneamiento del tipo unitaria, conduciéndose por la red de colectores principales conjuntamente las aguas de lluvia y las residuales.

Las principales afecciones a la red de colectores se producen a aquellos que en la actualidad cruzan con orientación Norte-Sur la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso estando las afecciones y cruzamientos concentrados básicamente en los enlaces existentes.

También se producen afecciones relevantes a tramos de colectores que discurren longitudinalmente bajo la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso.

Estas redes son titularidad fundamentalmente de EMASA.

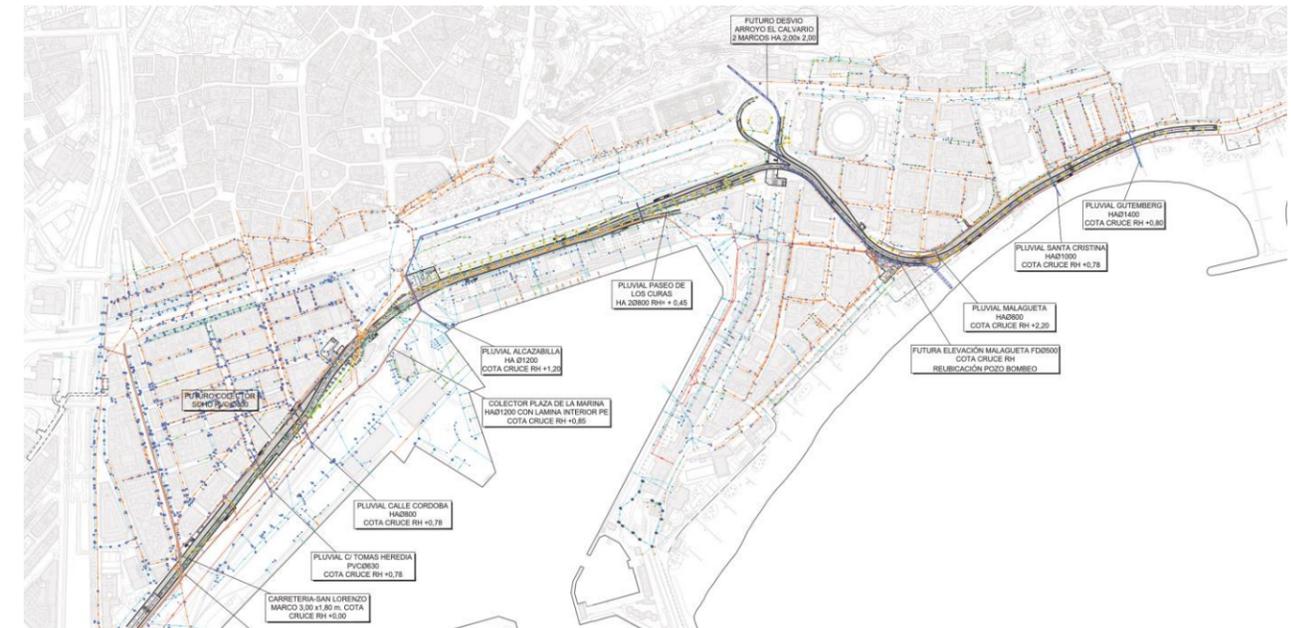
Los principales colectores transversales a considerar por sus dimensiones, e indicados en los planos, son los siguientes (de acuerdo con la información facilitada por EMASA):

Colectores unitarios:

- Colector de la red unitaria de calle Carretería-San Lorenzo: Marco de 3,00x1,80 m.
- Colector de la red unitaria de Plaza de la Marina: Tubo de hormigón armado de 1,2 m de diámetro.
- Futura elevación Malagueta: Tubería de fundición de 0,5 m de diámetro.

Colector de pluviales:

- Colector de pluviales de calle Tomás Heredia: Tubo de PVC de 0,63 m de diámetro.
- Colector de pluviales de calle Córdoba: Tubo de hormigón armado de 0,8 m de diámetro.
- Colector de pluviales de calle Alcazabilla: Tubo de hormigón armado de 1,2 m de diámetro.
- Colector de pluviales del Paseo de los Curas: Dos tubos de hormigón armado de 0,8 m de diámetro.
- Futuro desvío arroyo El Calvario: Marco de 2,00x2,00m
- Colector de pluviales de La Malagueta: Tubo de hormigón armado de 0,8 m de diámetro.
- Colector de pluviales de calle Santa Cristina: Tubo de hormigón armado de 1,00 m de diámetro.
- Colector de pluviales de calle Gutemberg: Tubo de hormigón armado de 1,40 m de diámetro.



*Saneamiento y pluviales en el ámbito del anteproyecto*

#### Líneas eléctricas

Las principales afecciones a las canalizaciones/instalaciones de la red eléctrica perteneciente a la compañía EDISTRIBUCIÓN Redes Digitales se producen en aquellas que en la actualidad cruzan con orientación Norte-Sur la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso estando las afecciones y cruzamientos concentrados básicamente en los enlaces existentes.

También se producen afecciones relevantes a tramos de canalizaciones/instalaciones que discurren longitudinalmente bajo la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso.

#### Telecomunicaciones

Por las canalizaciones de telecomunicaciones existente, las redes de las compañías Telefónica, Orange/Jazztel y Vodafone/ONO se "solapan", lo que indica que en alguno de los tramos se comparte canalización. Esto ha sido confirmado con los responsables técnicos de las citadas compañías.

Las principales afecciones a las canalizaciones/instalaciones de la red de telecomunicación se producen en aquellas que en la actualidad cruzan con orientación Norte-Sur la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas,

Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso estando las afecciones y cruzamientos concentrados básicamente en los enlaces existentes.

También se producen afecciones relevantes a tramos de canalizaciones/instalaciones que discurren longitudinalmente bajo la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso.

#### Alumbrado

La red de alumbrado público cuya titularidad pertenece al Ayuntamiento de Málaga, se desarrolla por ambos márgenes de la Avda. de Manuel Agustín Heredia, Paseo de los Curas, Avda. Cánovas del Castillo y el Paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso.

Realizando un análisis de la información disponible se concluye que prácticamente la totalidad de la red en el ámbito deberá ser desmontada, proyectándose una red de alumbrado acorde a la nueva urbanización/vialidad del eje litoral en superficie, una vez se ejecuten y pongan en servicio los túneles proyectados.

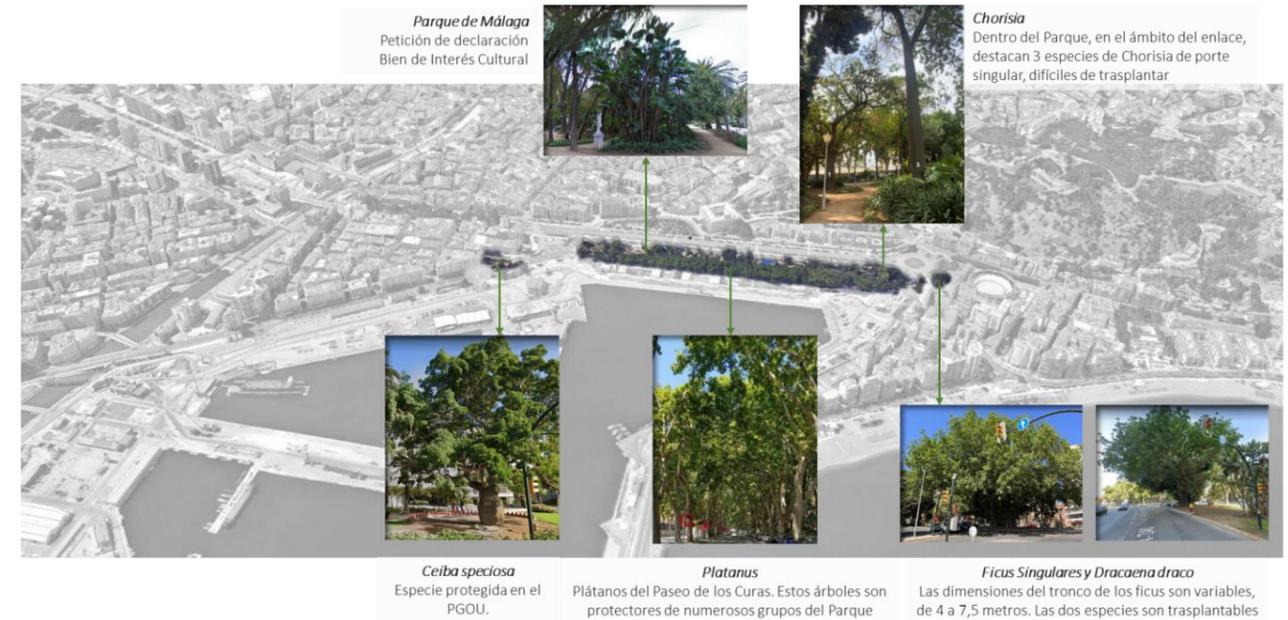
Durante el transcurso de las obras, se proyectarán soluciones de reposición temporales con objeto de poder prestar servicio.

#### 4.5 ZONAS VERDES

En la definición del trazado del túnel y en los procesos constructivos se deben tener en cuenta la presencia de árboles singulares y se debe tratar de minimizar las afecciones al parque de Málaga.

Por las características geométricas del túnel y el espacio disponible en superficie se ven afectados varios árboles singulares. Estos árboles son un ejemplar de *Dracaena draco* y dos ejemplares de *Ficus elastica* situados en la confluencia de la Av Cánovas del Castillo con la plaza Torrijos.

Para minimizar las afecciones a los plátanos de sombra situados en la mediana del paseo de Los Curas se desplaza la traza del túnel hacia el sur, invadiendo en parte el territorio portuario. A pesar de desplazar la traza del túnel hacia el sur, en el ámbito del aparcamiento del Muelle 1 éste se tiene que ubicar más hacia el norte y juntamente con la posición de las rampas de los ramales de acceso provoca la afección de varios plátanos de sombra existente.



#### Arbolado singular en el entorno de la traza

El tratamiento final de los árboles afectados se decidirá en fases posteriores tras un estudio pormenorizado e individualizado de cada árbol según su estado de conservación.

Cabe la posibilidad de realizar el trasplante de estos árboles mediante procedimientos especiales si finalmente se tuvieran por motivos medioambientales.



Trasplante en 2012 (izda.) y estado en 2013 (centro); trasplante de conjunto de árboles (dcha.). Todas ellas, mediante sistema TREEPLATFORM®

El pozo de ventilación situado en la plaza Alfonso Canales se configura para que no se vean afectados los dos árboles singulares existentes, un *Ceiba insignis* y un *Tilia tomentosa*.

En cualquier caso, será en la fase de redacción del estudio de impacto ambiental requerido para la autorización ambiental unificada cuando se realizará el estudio de detalle de afección al arbolado urbano y se definirán las medidas de gestión del arbolado afectado y las propuestas de actuaciones que se deriven como consecuencia del soterramiento del Eje Litoral.

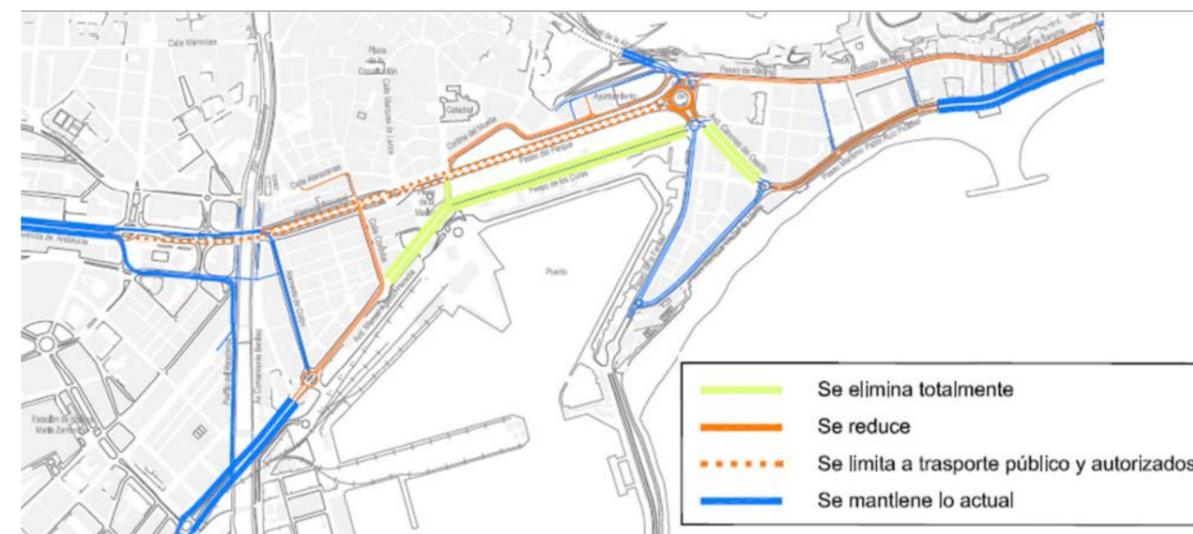
El estudio que se realice tendrán en cuenta lo establecido en el Plan Director del Arbolado de la ciudad de Málaga y se llevará a cabo en coordinación con el Servicio de Parques y Jardines del Ayuntamiento de Málaga, cumpliendo lo establecido en la Ordenanza Municipal de Promoción y Conservación de Zonas Verdes y el Decreto de la Alcaldía de 2013 sobre la adopción como método de valoración del arbolado la Norma Granada, versión 2006, corregida en 2007, de la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos.

#### 4.6 TRÁFICO Y MOVILIDAD

Se ha realizado una prognosis de la situación actual de la movilidad en la ciudad de Málaga con el objeto de realizar el estudio de movilidad en la situación futura con el túnel en servicio (anexo nº 11). El estudio de movilidad y simulación del anteproyecto concluye que todos los escenarios de diseño futuro previstos para el año 2035 presentan niveles de servicio de circulación estable en calzada y de circulación fluida dentro del túnel lo que se considera que asegura la funcionalidad del conjunto de la movilidad, incluidas las entradas y salidas de la estación de autobuses y los diferentes accesos subterráneos a los aparcamientos.

La solución propuesta para la construcción de un túnel en el Eje Litoral de Málaga es una gran oportunidad para ganar espacio al vehículo privado en pro de una movilidad más sostenible (pie, bicicleta y transporte público).

A través de las actuaciones propuestas se busca que en la zona central del Eje Litoral se limite al máximo posible la movilidad en vehículo privado. De esta forma en zonas como el Paseo de los Curas y la Av. Cánovas del Castillo se elimina el tráfico en superficie por completo, mientras que otras vías como Paseo del Parque, la Plaza de la Marina y Alameda Principal se limitan exclusivamente al transporte público y vehículos autorizados.



*Modificación de la red viaria para los vehículos privados*

El soterramiento del Eje Litoral reportará a la ciudad importantes beneficios gracias a la mejora de las conexiones peatonales (accesibilidad universal), la reducción de la contaminación sonora y ambiental y la disposición de grandes espacios para la movilidad activa (pie y bicicleta).

Los objetivos del proyecto son potenciar el transporte público y generar en superficie un espacio pacificado y eficiente energéticamente articulándose para ello en los siguientes puntos:

- . Restricción para vehículos contaminantes.
- . Área Central limitada a 30 km/hora
- . Potenciar el transporte público
- . Potenciar el uso de la bicicleta y el patinete
- . Política de aparcamiento:
  - o Favorecer al residente
  - o Controlar la rotación
- . Limitar el tráfico de paso en el Área Central
- . Aplicaciones innovadoras en Eje Litoral soterrado
- . Puntos de recarga para vehículos eléctricos en
- . Estaciones de autobús y aparcamientos
- . Renovables en el espacio público

Todo ello contribuye a mejorar la situación en el área central de bajas emisiones de la ciudad de Málaga.



Zona de bajas emisiones de la ciudad de Málaga

Con respecto al transporte público, hay que comentar que actualmente dentro de la zona de estudio, circulan una gran cantidad de autobuses tanto del servicio urbano (EMT) como del servicio interurbano (CTM) y es que en el ámbito del proyecto se encuentra la estación de autobuses del Muelle de Heredia, la Alameda Principal y a poca distancia la estación del AVE María Zambrano.

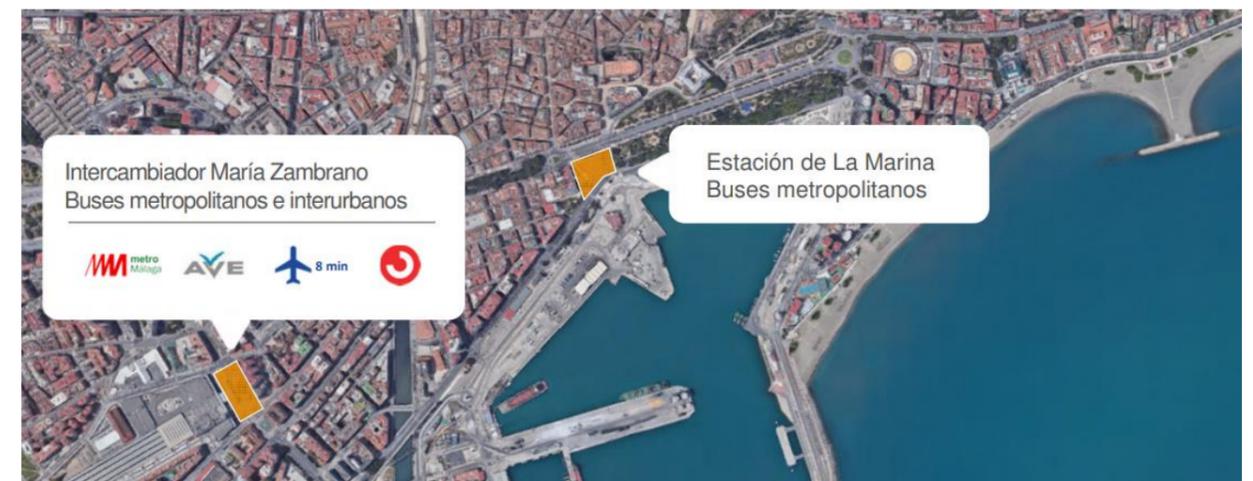
Del servicio de transporte público de autobuses, la gran mayoría de líneas que circularán por el túnel pertenecen a las líneas interurbanas, ya que las líneas urbanas de la EMT circulan principalmente por el Paseo del Parque.

- Líneas interurbanas: en un día laborable en hora punta de mañana se produce un paso de 17 autobuses en sentido Málaga y 14 buses hacia fuera del municipio (31 pasos entre los dos sentidos), mientras que en la hora punta de mediodía la circulación de autobuses en dirección Málaga es de 12 pasos y en sentido contrario de 14 pasos (26 pasos entre ambos sentidos)
- Líneas urbanas: Las líneas urbanas que circulan en el eje litoral, por donde pasará el túnel y que por tanto podrían verse obligadas a alterar su recorrido en caso de no circular por este, son:
  - . L27 Av. Manuel Agustín Heredia – Santa Barbara – P.I. Guadalhorce. 2 pasos en hora punta de mañana (1 por sentido); 2 pasos en hora punta de mediodía (1 por sentido).

- . L40 Paseo de la Farola – Sacaba Beach. 2 pasos en hora punta de mañana (1 por sentido); 2 pasos en hora punta de mediodía (1 por sentido).
- . L8 El Palo - Carlos Haya – Clínico. 8 pasos en hora punta de mañana (4 por sentido); 8 pasos en hora punta de mediodía (4 por sentido).
- . L14 Paseo de la Farola - Carranque – Teatinos (sentido oeste). 4 pasos en hora punta de mañana y 4 pasos en hora punta de mediodía.
- . L7 Parque Litoral - Alameda Principal – Carlinda. 12 pasos en hora punta de mañana (6 por sentido); 8 pasos en hora punta de mediodía (4 por sentido).
- . L20 Alegría de la Huerta - Alameda Principal - Los Prados. 10 pasos en hora punta de mañana (5 por sentido); 6 pasos en hora punta de mediodía (3 por sentido).
- . L36 Av. Andalucía - Conde Ureña (sentido este). 1 paso en hora punta de mañana; 1 paso en hora punta de mediodía.

Por tanto, si se tienen en cuenta las líneas urbanas e interurbanas, **se estima un paso total de 70 autobuses en hora punta de mañana y de 57 en hora punta de mediodía, por el recorrido del túnel.**

Gracias al nuevo desarrollo propuesto todas estas líneas darán servicio a través de las nuevas estaciones de autobuses soterradas, una de ellas (la estación de la Marina) situada en el eje litoral muy cerca del actual intercambiador del Muelle Heredia.



Localización de las estaciones de la Marina y María Zambrano

Por otro lado, la movilidad peatonal y ciclista serán las grandes beneficiadas por las actuaciones realizadas con el soterramiento de la circulación en el Paseo de los Curas. El futuro túnel permitirá ganar una gran cantidad de espacio a lo largo de los 2,3 km de recorrido, sobre todo en la zona central donde se conectará la zona del puerto con el paseo central situado actualmente entre el Paseo de los Curas y el Paseo del Parque.

Otra de las zonas beneficiadas con la creación del túnel es el Paseo Pablo Picasso donde se amplía considerablemente la sección actual del paseo, que pasa de los 5 m más de 14 m.

Dentro del espacio ganado, en relación con la movilidad ciclista, gracias a estas actuaciones se crearán nuevos carriles bici.

Por tanto, se estima que a raíz de estas actuaciones se ganen 64.700 m<sup>2</sup> de nuevos espacios públicos y zonas verdes a lo largo de todo el recorrido, repartidos de la siguiente forma:

- . Ampliación del Parque 17.700 m<sup>2</sup>
- . Nueva Plaza de La Marina 10.200 m<sup>2</sup>
- . Nuevo Paseo Marítimo 13.100 m<sup>2</sup>
- . Avenida Cánovas del Castillo 3.400 m<sup>2</sup>
- . Avenida Agustín M. Heredia 15.100 m<sup>2</sup>
- . Plaza de Torrijos 5.200 m<sup>2</sup>



*Nuevos espacios pacificados generados con el soterramiento*

Con el objetivo de ordenar el nuevo espacio resultante de la construcción del túnel, se plantea la posibilidad de restringir el acceso de vehículo privado a los barrios a excepción de sus residentes. Asimismo, se propone regular el acceso de otros vehículos, incluyendo aquellos vinculados a la distribución urbana de mercancías, estableciendo

horarios específicos para su circulación. Considerando el espacio liberado tras la intervención, se sugiere aplicar el concepto de "supermanzana", que ha demostrado ser exitosa en otras ciudades, en estas dos áreas de la ciudad. Esto implica que estos barrios se transformarían en espacios completamente pacificados. Esta iniciativa busca mejorar la calidad de vida de los residentes, reducir la congestión vehicular y fomentar entornos urbanos más amigables y accesibles. Esta es una propuesta de ordenación del espacio disponible que se definirá su viabilidad en fases posteriores del proyecto.

Una supermanzana es un conjunto de manzanas de edificios que se configuran como una única célula o unidad urbana. Sus características principales son dos: en primer lugar, las calles interiores están peatonalizadas o bien tienen el tráfico restringido a una determinada velocidad (10 km/h) y/o a ciertos tipos de conductores y vehículos (vecinos, reparto, emergencias, etc.).

La segunda característica es que no se puede atravesar por los vehículos a motor. Así, no tiene sentido entrar si su destino no está en dichas vías internas, disminuyendo drásticamente el ruido y la contaminación en sus calles, y liberando más del 70% del espacio que actualmente ocupan los vehículos motorizados en pro de los desplazamientos a pie o en bicicleta. Todos los demás vehículos y transportes públicos, cuyos trayectos antes cruzaban estas vías interiores, han de emplear las vías perimetrales de la supermanzana.

Existen, por tanto, dos redes, una de ciudad, que permite unir los diferentes puntos de la urbe a una velocidad máxima de 50 km/h, y otra local, interna, de velocidad limitada a 10 km/h y que da servicio a los residentes y a las actividades allí ubicadas.

En este sentido se proponen las siguientes supermanzanas:

- Triángulo de Alameda de Colon, viario en superficie del Paseo de los Curas y Plaza de la Marina: se plantea una circulación perimetral en sentido horario, aprovechando que el perímetro (Alameda de Colon va en sentido subida).



*Supermanzana propuesta para el barrio del SOHO*

Las secciones necesarias son de un solo carril para el tráfico privado por cada sentido. El detalle de la ordenación básica en superficie de esta zona de la ciudad se puede observar en los planos del anteproyecto, cabe destacar que es una ordenación orientativa, que deberá acabarse de definir con el departamento de movilidad del Ayuntamiento de Málaga.

Los sentidos que están fuera del ámbito estricto del túnel y son fundamentales en esta ordenación son:

- . Alameda de Colon que deberá ser de subida.
- . Calle Córdoba en sentido bajada
- . Av. Comandante Benítez de subida con paso inferior.

Zona de Malagueta playa entre el mar, Gutemberg y el Paseo de Reding: Actualmente la Avenida de Cánovas del Castillo es una de las más castigadas por el tráfico urbano, tanto por la elevada intensidad de vehículos que pasan diariamente como por la morfología de la calle. La transformación consiste en construir el túnel por debajo y dejar un solo carril de circulación en sentido mar para canalizar el tráfico de los vecinos de la zona.



*Supermanzana propuesta para el barrio de la Malagueta*

Se plantea un barrio con todas las calles en plataforma única, con el transporte público circulando por su interior, básicamente bajando por el Paseo de la Farola y subiendo por la pacificada Avenida de Cánovas, que pasa a ser un paseo semipeatonal de llegada a las playas (tráfico abierto solo durante el periodo de distribución urbana de mercancías, durante todo el día para vecinos, servicios, taxis y transporte público).

Como en el caso del SOHO, esta ordenación es meramente orientativa, ya que debe acabar de acordarse definitivamente con el ayuntamiento de Málaga. En este caso, el Paseo de la Farola debe ser de doble sentido y el resto de las calles secundarias puede ser objeto de cambio si se considera necesario.

La propuesta permite la movilidad interior y los accesos tanto des de Gutenberg como des de la Plaza Torrijos, conservando la accesibilidad actual de la zona del Puerto de Cruceros, cuya movilidad se ha incrementado en las simulaciones futuras estimando una salida extraordinaria de unos 285 taxis a la hora entrando o saliendo en función de la hora.

## 5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS. ANÁLISIS MULTICRITERIO

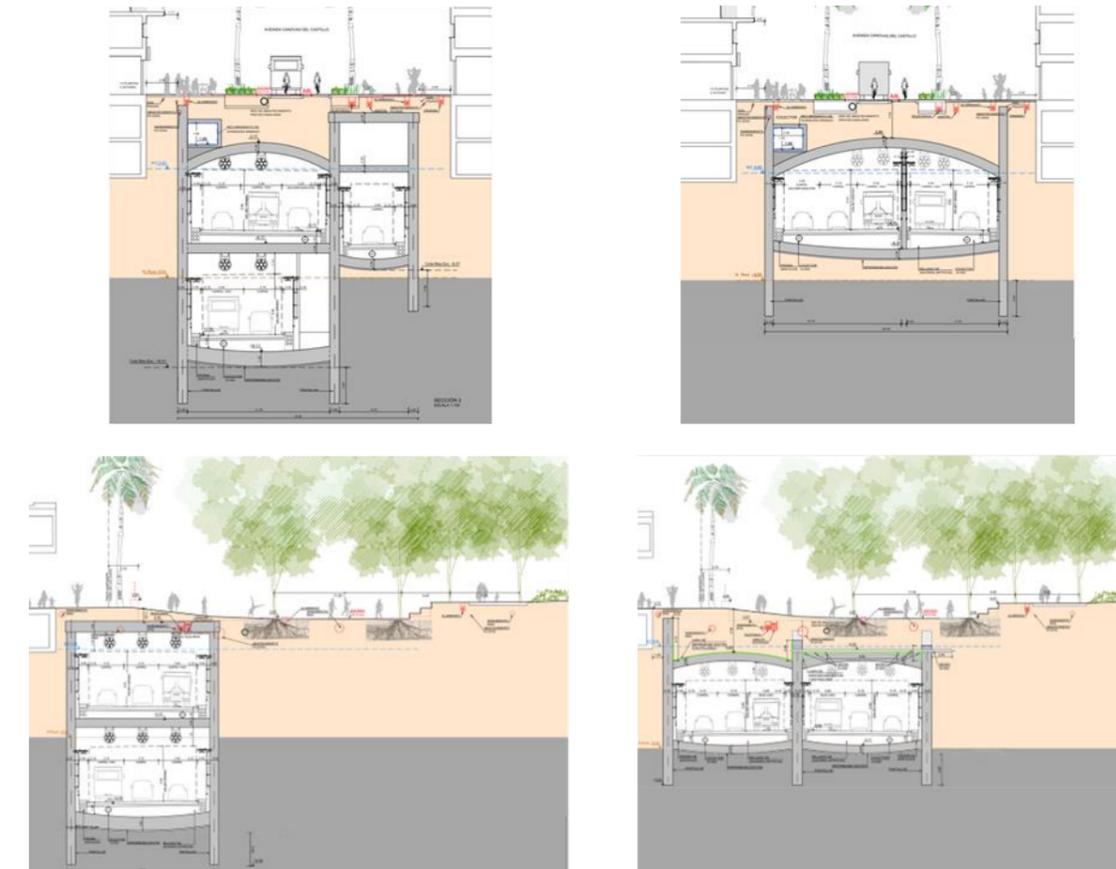
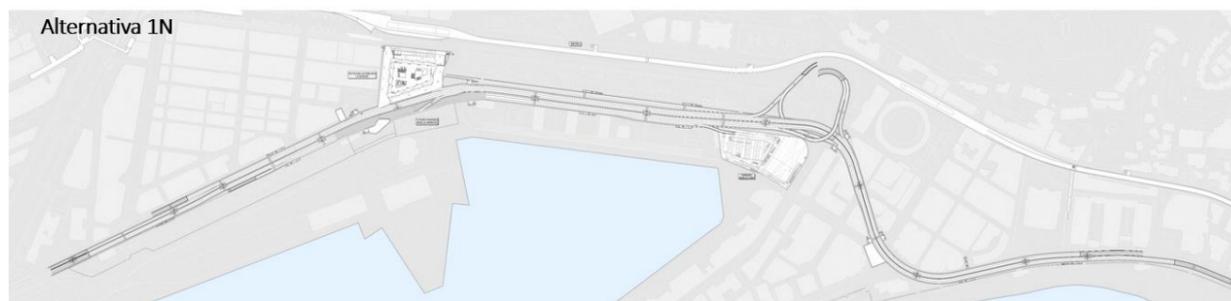
El objeto del presente Anteproyecto es el de definir y desarrollar el Eje Litoral Soterrado de acuerdo con los criterios definidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas del Contrato.

Para realizar la validación de la solución propuesta se ha desarrollado un estudio de alternativas, recogido en el Anejo 7, que tiene como objeto analizar y establecer la alternativa de solución óptima para el túnel siguiendo criterios de funcionalidad, seguridad, económicos, medioambientales, de afección al ciudadano y a la movilidad en superficie.

El estudio de alternativas proponía inicialmente dos soluciones de diseño del túnel:

1. Sección tipo con calzada a doble nivel (la propuesta en el Estudio de Alternativas de Ordenación Viaria del Eje Litoral Soterrado de junio de 2021). Denominada Alternativa 2N.
2. Sección tipo con un único nivel de calzada. Denominada Alternativa 1N

Durante el desarrollo de los trabajos surge una tercera opción como combinación de las dos primeras, según el tramo del soterramiento por el que discurre la traza, denominada Alternativa Híbrida.



*Planta y secciones comparativas de las alternativas 2N y 1N.*

Antes de explicar las conclusiones del estudio y la metodología aplicada, conviene repasar los criterios de diseño aplicados en este Anteproyecto. De acuerdo con el Pliego, el soterramiento debía cumplir con los siguientes requisitos:

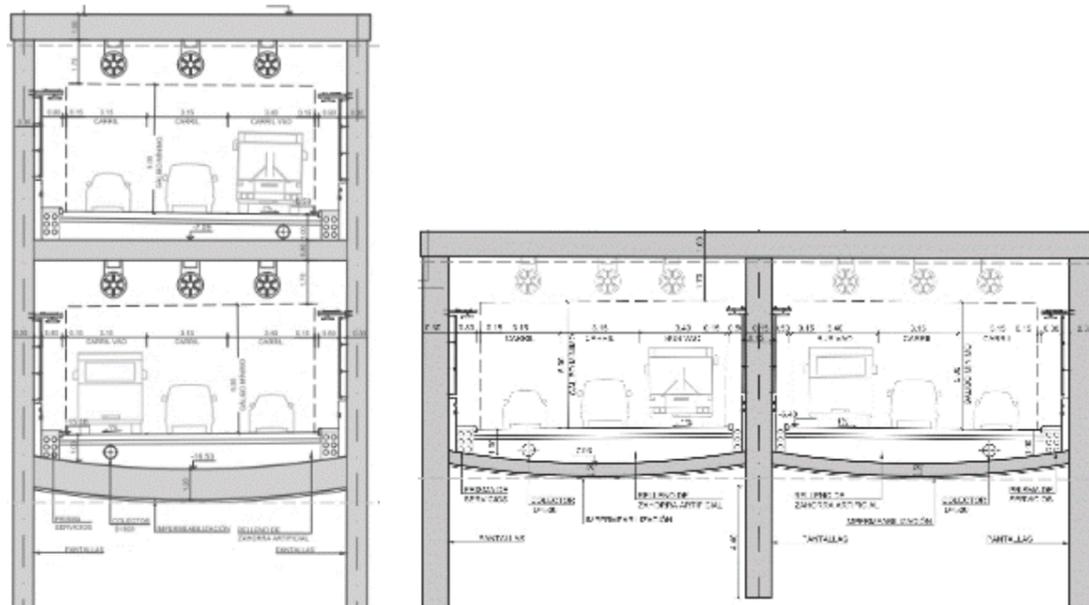
1. Conectar viariamente el este-oeste (Málaga-Región)
2. Conectar con la ciudad, a través de Torrijos (Malagueta) y Alameda Colón (Soho)
3. Potenciar el transporte colectivo
4. Acceder directo a las terminales y aparcamientos
5. Adecuar la Red de Saneamiento: tanque de tormentas – nuevos colectores
6. Minimizar los condicionantes en superficie, integrando los espacios centrales con el puerto y el litoral
7. Minimizar la afección a arbolado existente, generando las condiciones para crear más de 8Ha de nuevos espacios verdes
8. Aplicar los máximos criterios de sostenibilidad y seguridad en el túnel



Relación del soterramiento con el entorno: requisitos de relación del diseño

En la alternativa 1N, a un único nivel, la sección tipo del túnel la componen dos túneles independientes, unidireccionales con las calzadas situadas en paralelo. La sectorización entre túneles requerida se corresponde con una clasificación R-240 que se logra mediante la pantalla de hormigón armado central, de entre 0,80 y 1m. de grosor o mediante una pared maciza de bloque de hormigón revestido en el tramo donde el túnel posee dos carriles. La cota de rasante de ambos túneles se sitúa a unos 9m. de profundidad.

En la alternativa 2N el túnel norte se deprime hasta los 18m. de profundidad para situarse por debajo del túnel sur. La configuración sigue siendo la misma, conformando tubos independientes unidireccionales separados en este caso por una losa de hormigón armado intermedia.



Comparativa de las secciones tipo de las alternativas 1N y 2N.

La principal ventaja del túnel 2N respecto al de un nivel es la ocupación en planta de la infraestructura y su repercusión en superficie, así como un menor plazo de ejecución. Al discurrir el trazado del túnel por un ámbito urbano consolidado, el principal condicionante de diseño es el espacio disponible, que limita el propio ancho de la sección tipo y también los parámetros de trazado en planta. La sección tipo del túnel 2N tiene un ancho máximo de 13,80m sin incluir las salidas de emergencia ni los ramales de acceso. En la sección 1N este ancho se sitúa en los 26,50m (en ambos casos para el tramo con 3+3 carriles). La menor ocupación en planta tiene un impacto directo en las afecciones a los servicios existentes y en la disponibilidad de espacio para realizar los desvíos de tráfico. Esta afección es menor en la alternativa 2N, aunque las afecciones añadidas producidas en la alternativa 1N no son críticas respecto a la 2N debido a que en la zona de rampas de las bocas y ramales el ancho ocupado es similar en ambas alternativas. El tramo más crítico en cuanto la disponibilidad de espacio en planta es la Av. Cánovas del Castillo en la cual la sección a 2N permite se aleja más de la fachada de las edificaciones existentes.

La principal ventaja de la alternativa 1N respecto a la 2N es que el túnel se sitúa a una profundidad menor. Este hecho implica que las pantallas sean menos profundas y se minimiza la excavación en roca en el primer tramo, donde esta se encuentra a menos profundidad. En la alternativa 1N el túnel se sitúa prácticamente en todo su recorrido por encima de los estratos rocosos. En cambio, en la alternativa 2N, en el tramo entre la plaza de Marina y la boca este, el túnel inferior se encuentra en gran parte del ámbito en el estrato rocoso, lo que implica sobrecostos en la excavación.

Se expone a continuación el resumen del estudio de alternativas desarrollados:

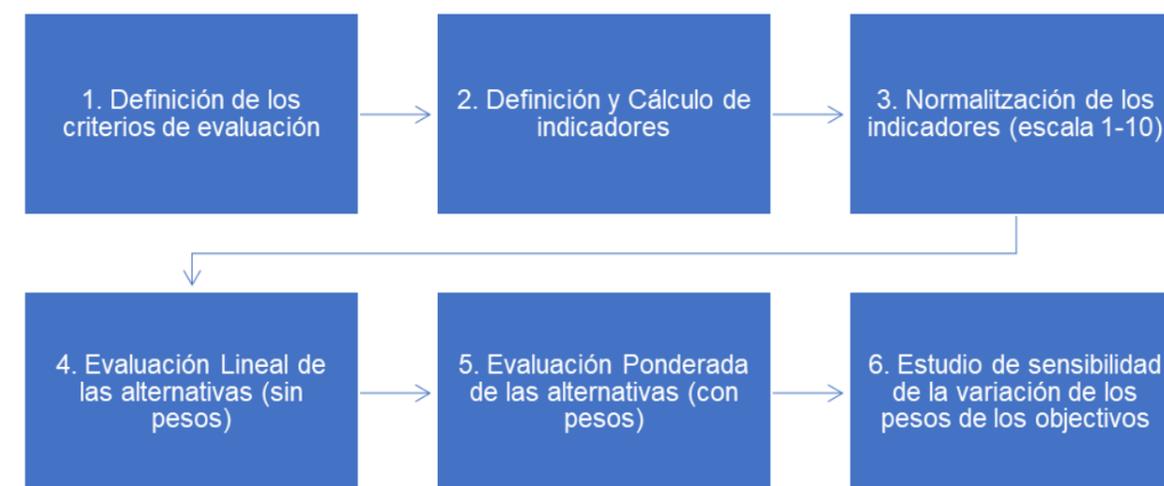
ALTERNATIVA 1N	ALTERNATIVA 2N	ALTERNATIVA HIBRIDA
Presupuesto un 14% más barato respecto a la 2N.	Menor plazo de ejecución.	Presupuesto un 4% más barato respecto a la 2N.
Menos excavación en roca y menos profundidad de rebaje del N.F.	Menor ocupación en superficie	Menor plazo de ejecución respecto 1N.
Menor efecto barrera: sistema de by-pass más simple.	Mayor holgura en Cánovas del Castillo y Paseo de los Curas.	Menor ocupación en superficie respecto 1N.
Mejora la operativa de los equipos de emergencia en caso de incendio, con conexión entre tubos para vehículos y equipos de emergencia.	Menor ocupación en superficie en paseo de los Curas. Menor afección a la vegetación existente.	Mayor holgura en Cánovas del Castillo y Paseo de los Curas respecto 1N
Salidas de emergencia menos profundas y con menores recorridos de evacuación.	Permite conexiones por un único lado de ambos tubos en las salidas de emergencia	Menor ocupación en superficie en paseo de los Curas. Menor afección a la vegetación existente respecto 1N.
Optimiza el sistema de ventilación del túnel.	No afecta al edificio I.E.P. ni al restaurante Gutiérrez Puerto	No afecta al edificio I.E.P. ni al restaurante Gutiérrez Puerto.
	Menor afección a servicios existentes	Menor afección a servicios existentes respecto 1N
	Mayor facilidad para desvíos de tráfico	Mayor facilidad para desvíos de tráfico.
		Menos excavación en roca y menos profundidad de rebaje del N.F. (Aprox. 1.109 m a 1N).
		Mejora la operativa global de los equipos de emergencia en caso de incendio respecto a la 2N, con conexión entre tubos para vehículos y equipos de emergencia en los aprox. 1.109 m a 1N.

Tras un análisis detallado de las ventajas y desventajas inherentes en las alternativas 1N y 2N, se ha tomado la decisión estratégica de avanzar en el desarrollo de una alternativa que compatibilice las fortalezas de ambas propuestas. Esta opción resultante, denominada "híbrida", ha sido concebida de manera que incorpore y potencie los beneficios de ambas soluciones. La esencia de la alternativa híbrida radica en su capacidad para ofrecer una sinergia efectiva, aprovechando las fortalezas individuales de las opciones 1N y 2N. Se realizó un análisis multicriterio para decidir la mejor alternativa, considerando los condicionantes identificados.

El análisis multicriterio es un conjunto de métodos matemáticos de análisis que ayudan en la toma de decisiones, permitiendo comparar diferentes alternativas o escenarios de acción mediante la especificación, combinación, valoración y ponderación razonada de los criterios considerados relevantes para satisfacer uno o varios objetivos, ya sean complementarios u opuestos. Debe proporcionar un enfoque estructurado para evaluar y comparar diferentes opciones o escenarios, considerando múltiples criterios relevantes y facilitando la toma de decisiones en situaciones complejas donde hay intereses y objetivos divergentes.

Se ha llevado a cabo el estudio siguiendo los siguientes pasos:

- Definición de los criterios de evaluación (objetivos generales) que las alternativas del proyecto deben alcanzar.
- Definición y cálculo de indicadores, posiblemente cuantitativos, para evaluar el grado de cumplimiento de cada alternativa con respecto a los objetivos generales definidos.
- Normalización de los indicadores en una escala homogénea de valores (1-10) que permita una evaluación comparativa.
- Agregación de los indicadores y objetivos sin considerar pesos o importancia relativa entre ellos: Evaluación Lineal de las alternativas. En otras palabras, se considera que todos los objetivos tienen la misma importancia relativa (vectores de peso idénticos), con el fin de tener una idea de la mejor alternativa sin tener en cuenta el peso de los objetivos e indicadores.
- Evaluación Ponderada de las alternativas, teniendo en cuenta la importancia relativa de los objetivos generales. Se agrega los indicadores y objetivos asignando una puntuación a cada una de las alternativas mediante la suma del valor algebraico de los indicadores ponderados con los pesos asignados.
- Estudio de sensibilidad de la mejor alternativa al vector de pesos de los objetivos. En otras palabras, se estudia la selección de una determinada alternativa en función de la variación de los coeficientes de ponderación de los objetivos adoptados.



Esquema de trabajo para el Análisis Multicriterio (AMC)

Tras realizar la evaluación ponderada se realizan un análisis de sensibilidad y robustez para comprobar la consistencia de los resultados, ya que estos análisis permiten demostrar que objetivamente la alternativa seleccionada es la mejor elección, independientemente de los pesos asignados a los criterios.

Con todo, en base al Análisis Multicriterio realizado, cuya metodología se expone paso por paso en el anejo número 7, la Dirección de Proyecto selecciona la Alternativa Híbrida como óptima a desarrollar en el Anteproyecto, con una configuración mixta contando el túnel con una sección a un nivel en su inicio y final y con una sección a dos niveles en su tramo intermedio.

## 6. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

A continuación, se describe la alternativa seleccionada, con un recorrido de este a oeste que permite analizar la solución por tramos y desde el punto de vista de las diferentes disciplinas involucradas.

Previamente, se expone la Normativa que ha servido de base para el desarrollo de este Anteproyecto.

### 6.1 NORMATIVA DE REFERENCIA EN EL DISEÑO DEL TÚNEL

El diseño del túnel viene condicionado por el conjunto de los parámetros pertinentes en cuanto a la seguridad, características geométricas, tráfico, instalaciones de seguridad y medidas de explotación, además de los condicionantes de contorno citados en los puntos anteriores.

Al no haber normativa específica de aplicación para túneles urbanos se han tomado como principales referencias de diseño del túnel las siguientes normas y/o recomendaciones:

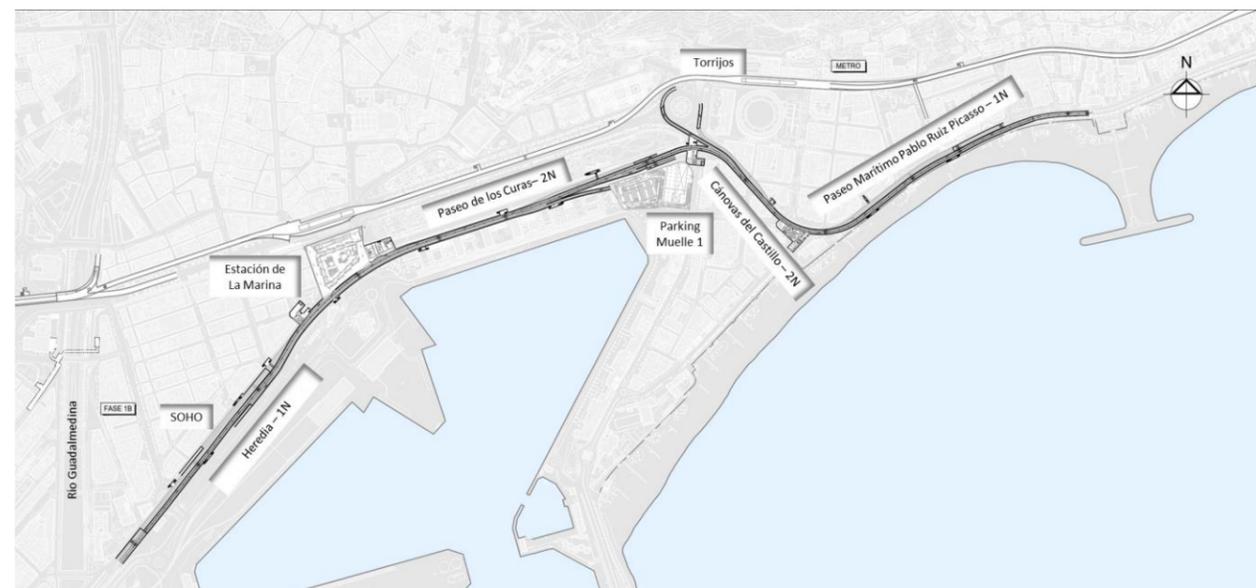
- Instrucción de carreteras. Norma 3.1 – IC Trazado, Ministerio de Transportes.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes PG-3.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
- Código Técnico de la Edificación.
- Instrucción Técnica de Túneles Urbanos de la ciudad de Barcelona. Esta instrucción se toma como referencia al ser la única existente a nivel estatal específica de aplicación para túneles urbanos.

En los siguientes puntos se detallan las características de diseño del túnel por disciplina.

## 6.2 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

El túnel del Eje Litoral sigue la traza del paseo marítimo Pablo Ruiz Picasso, la avenida de Cánovas, el paseo de los Curas y la avenida Heredia desde la calle de Gutenberg hasta el río Guadalmedina. Está formado por dos tubos independientes, con circulación unidireccional. En un primer tramo, desde la boca este hasta el enlace de la plaza Torrijos disponen de 2 carriles por sentido. Desde el enlace de Torrijos hasta los accesos del SOHO están formados por 3 carriles por sentido. Desde los accesos del SOHO hasta la boca oeste el túnel vuelve a la disposición de dos carriles por sentido. El carril izquierdo de ambas calzadas será de uso exclusivo para autobuses y vehículos de alta ocupación (carril BUS-VAO).

La boca de acceso este es de configuración asimétrica, situándose la rampa del túnel norte al oeste de la calle Gutenberg, permitiendo el acceso desde esta calle hacia el interior del túnel. La boca del túnel sur se sitúa al este de esta calle. Esta configuración asimétrica permite disponer de un vial lateral continuo a ambos lados del túnel y no invadir el dominio público marítimo terrestre que en este tramo está delimitado por el muro que separa el paseo de la playa. El PK 0+000 se sitúa en esta boca siendo creciente en sentido oeste.



*Planta General Solución Propuesta*

La Alternativa Híbrida seleccionada se compone de dos tramos extremos con las calzadas al mismo nivel (1N): entre la boca este y el PK 0+550, y entre el PK 1+880 y la boca oeste, y de un segundo tramo central con las calzadas superpuestas (2N), desde el PK 0+550 hasta el PK 1+880. Estas dos secciones tipos tienen las siguientes características según el número de carriles de circulación:

En un primer tramo, desde la boca este hasta el enlace de Torrijos la sección tipo del túnel está formada por una calzada de 6,85m de anchura con dos carriles de circulación. Uno de ellos exclusivo para BUS-VAO de 3,40m. de anchura situado a la izquierda según el sentido de la marcha y el otro de 3,15m de anchura para el resto de los vehículos. A ambos extremos se dispone de dos arcenes de 0,15m de anchura donde se disponen los elementos de recogida de agua superficial.

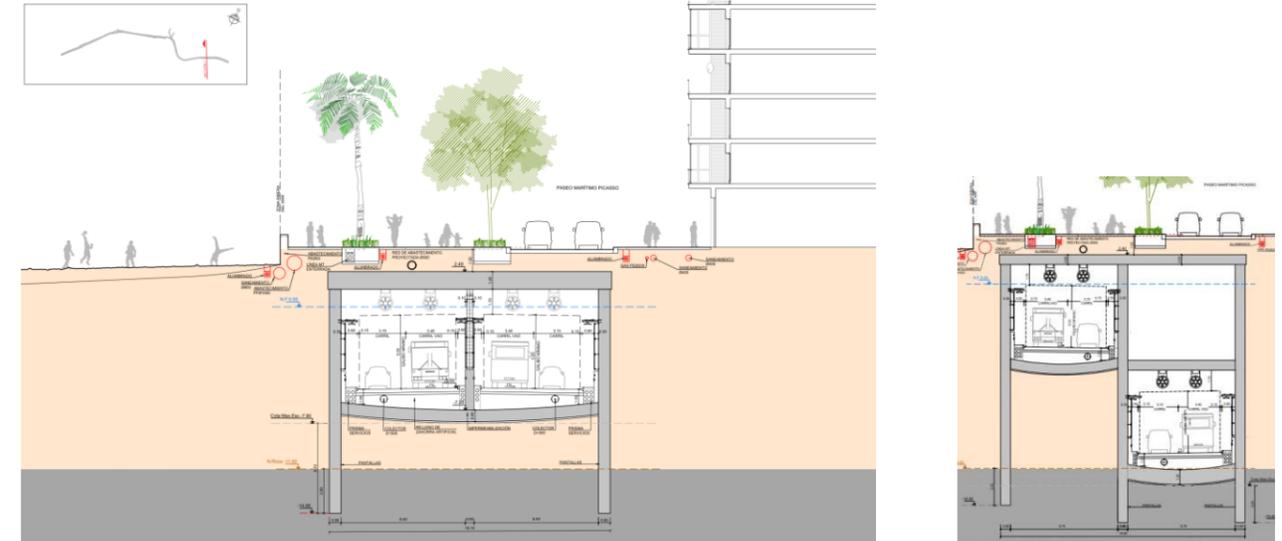
En un segundo tramo, desde el enlace de Torrijos hasta los accesos del SOHO, la sección del túnel se compone de tres carriles por sentido, siendo el situado a la izquierda según el sentido de la marcha exclusivo para BUS-VAO y de 3,40m. de ancho. Los dos carriles restantes tienen una anchura de 3,15m. Se disponen arcenes laterales de 15cm. de anchura a ambos, resultando un ancho de calzada total de 10,00m.



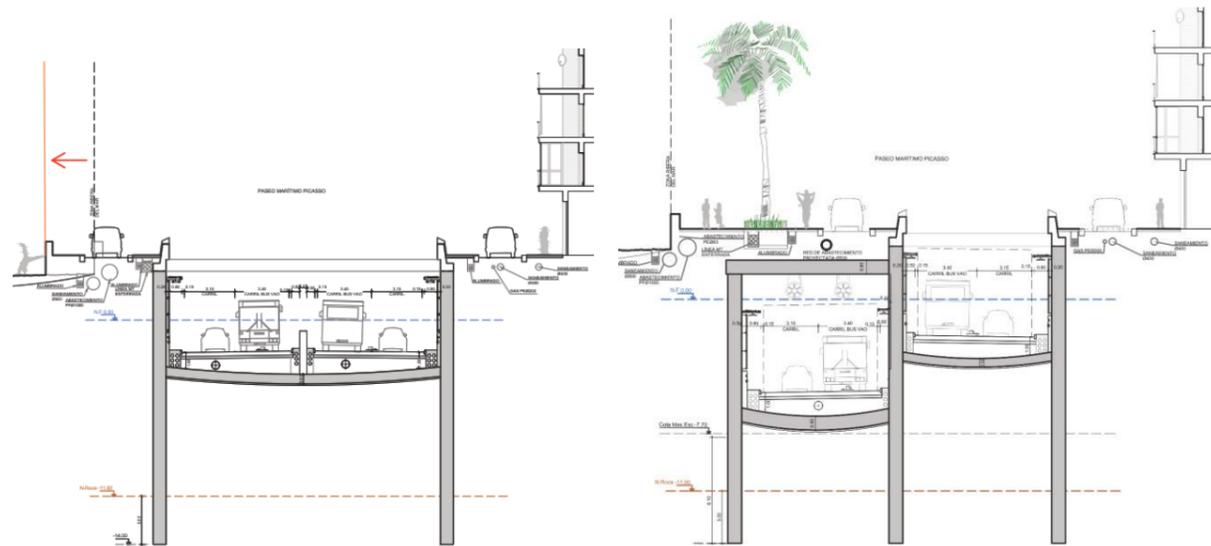


Configuración asimétrica de las rampas de la boca este

En la comparativa de secciones tipo con diferentes composiciones de rampas se puede apreciar como la disposición en paralelo obligaría a afectar el D.P.M.T. en el caso de querer mantener los viales laterales.



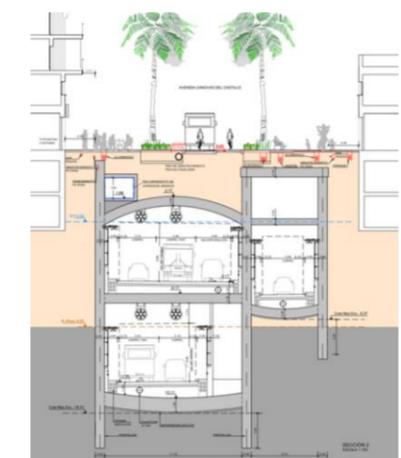
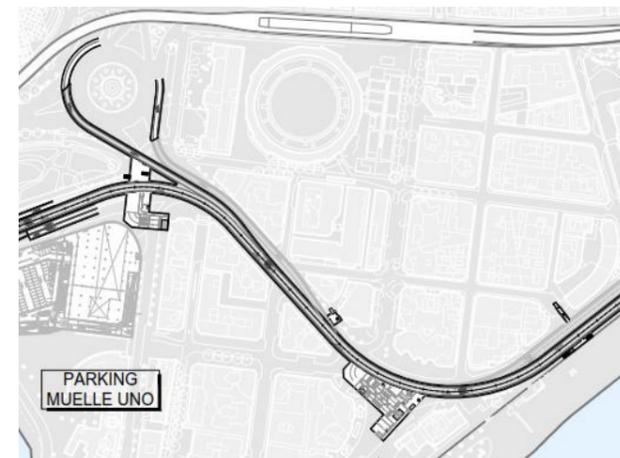
Izquierda, sección en 1 nivel al inicio del soterramiento; derecha, sección en transición a 2 niveles



Sección en acceso Este con disposición de rampas en paralelo (izquierda) o asimétricas (derecha)

En su primer tramo, desde el acceso Este hasta el PK 0+550, las calzadas se sitúan al mismo nivel. Esto permite minimizar la excavación, así como mejorar las condiciones de explotación del túnel permitiendo la interconexión entre tubos. Cada túnel se compone de un carril BUS-VAO más un carril de circulación para el resto de los vehículos (2+2).

A partir del PK 0+550, a la altura de la plaza de la Malagueta, el túnel pasa a una configuración de doble nivel, situándose el túnel sentido oeste por debajo del túnel este, lo que permite ajustar el ancho de la sección en la avda. Cánovas. Esto obliga a que en este tramo se deba utilizar hidrofresa para las pantallas y una buena parte del tubo inferior precise excavación en roca. La geometría propuesta es compatible con el desvío del Arroyo Calvario



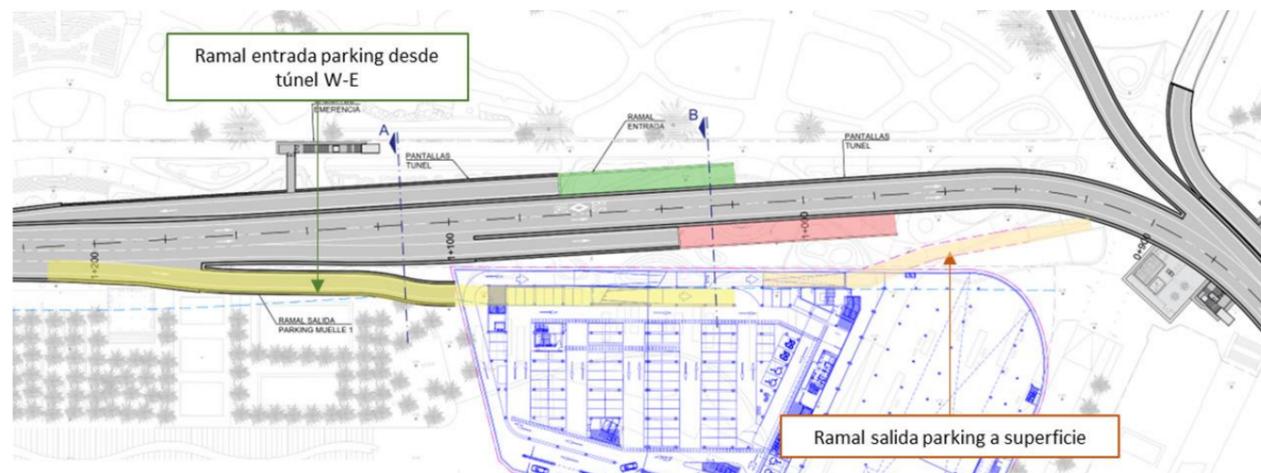
Izquierda, planta Cánovas del Castillo, incluyendo ocupación con rampa de salida Este-torrijos y acceso a Torrijos-Este; derecha, sección con rampa de salida

En la plaza de Torrijos, la configuración a un nivel permite situar los accesos de las rampas situadas al norte del túnel a diferente del nivel del tronco, por lo que se eliminan las rampas que afloran en el paseo de los Curas en la alternativa 2N. En cambio, en la alternativa 2N, al separar los diferentes accesos en más rampas, permite una mejor regulación del tráfico en superficie.



*Enlace de Torrijos subterráneo (izquierda) y en superficie (derecha)*

Se prevé también una conexión directa con el aparcamiento de rotación existente en el Muelle 1. La conexión se realizará de forma directa desde el túnel sur a la planta -2, debiéndose modificar la arquitectura interior del aparcamiento para acoger esta nueva rampa, anulándose el acceso desde superficie. Se deberá instalar un sistema de balizamiento en el túnel para cerrar el acceso al aparcamiento en caso de generarse una cola en la entrada, evitando que esta se traslade a la calzada del túnel.

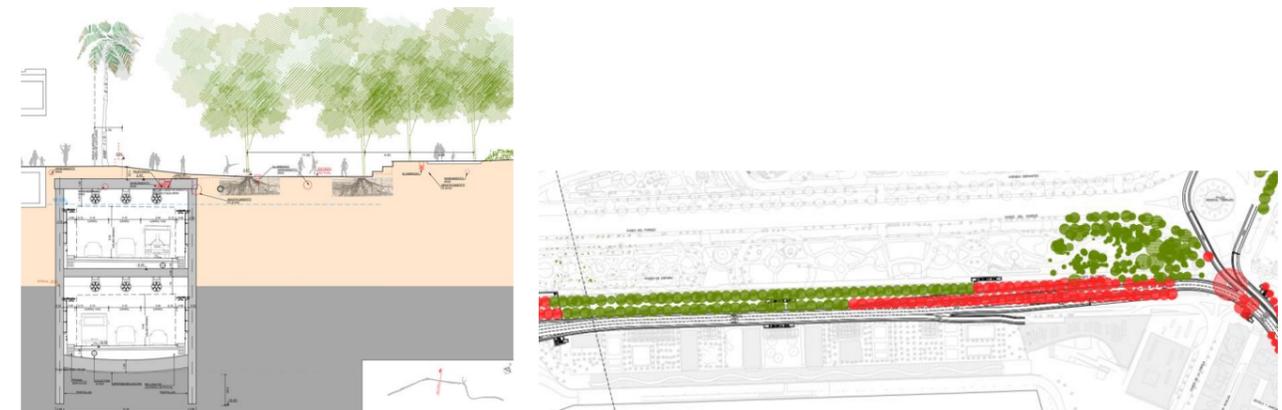


#### *Accesos al aparcamiento del muelle 1*

A partir del enlace de Torrijos, en el PK 1+300, el túnel pasa a una configuración de 3 carriles por sentido, 1 carril BUS-VAO más dos carriles de circulación, circulando a lo largo del Paseo de los Curas.

El Paseo de los Curas es el emblema de la transformación del Plan Málaga Litoral. Condicionado por dos alineaciones de plátanos y la relación con el parque, es clave en la recuperación de espacios de calidad para el peatón.

En este ámbito, la solución se desplaza hacia el sur, invadiendo en parte el territorio portuario, para salvar la alineación central de los plátanos. En cualquier caso, por las características geométricas del túnel y el espacio disponible en superficie será inevitable afectar varios árboles singulares. Estos árboles son un draco y dos ficus situados en la confluencia de la avda. Cánovas con la plaza Torrijos. El tratamiento final de los árboles afectados se decidirá en fases posteriores tras un estudio pormenorizado e individualizado de cada árbol según su estado de conservación.

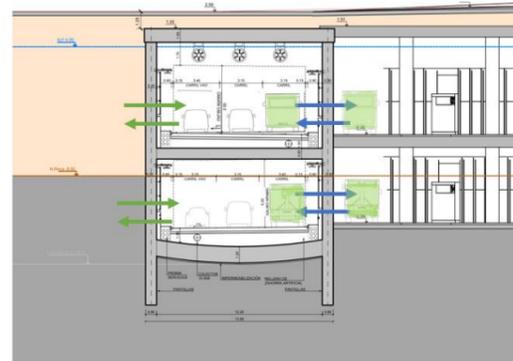
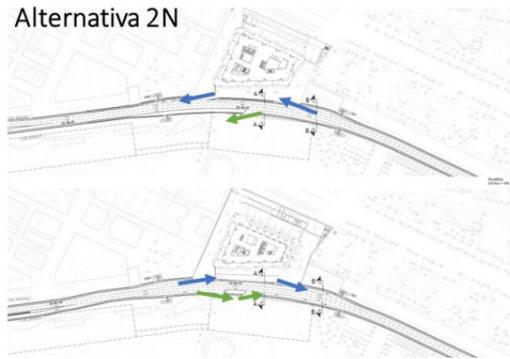


*Sección (izquierda) y afecciones a los árboles en el entorno del paseo de los Curas (derecha)*

El tramo del Paseo de los Curas desemboca en la plaza de la Marina. La estación de autobuses de la Marina es el otro punto de conexión del soterramiento con la ciudad en sus más de 2km de longitud.

La estación contará con dos plantas para el embarque de pasajeros y solo dispondrá de accesos a través del túnel. Cada planta se conectará a un nivel del túnel, permitiendo la entrada y la salida de los autobuses por cada uno de los niveles. La estación tendrá rampas interiores que comuniquen ambos niveles, por lo que los cambios de sentido se realizarán por el interior de la estación utilizando estas rampas.

Alternativa 2N

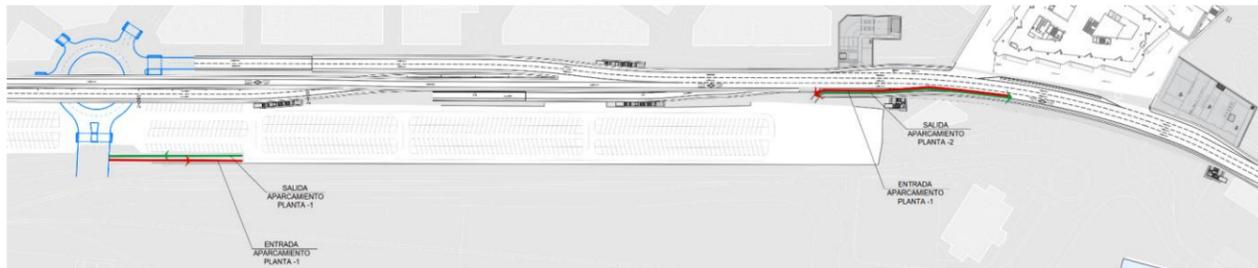


Planta y sección del túnel a su paso por la Estación de La Marina

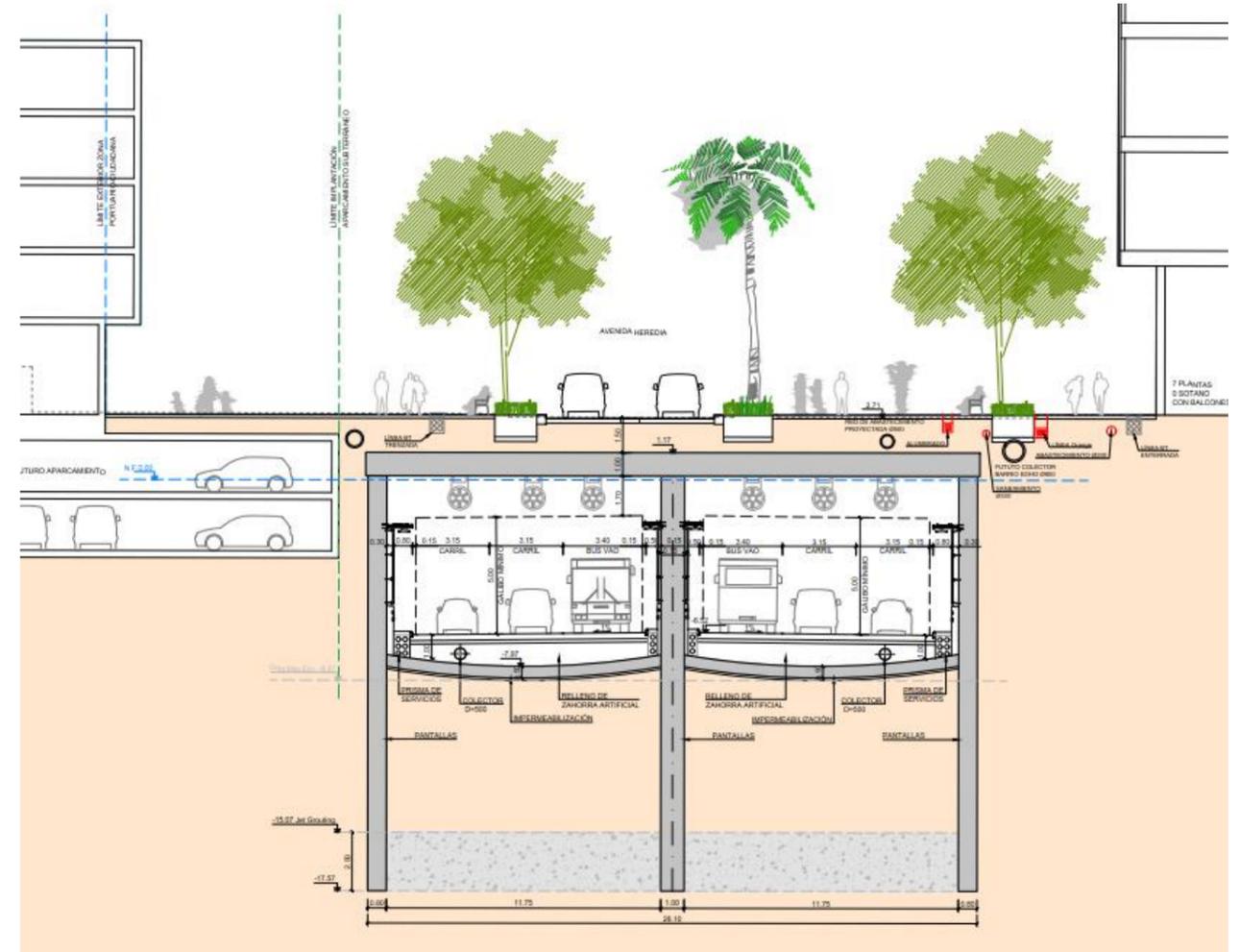
Una vez superada la estación, el pozo de ventilación situado en la plaza Alfonso Canales se configura para que no se vea afectados los dos árboles singulares existentes, un Ceiba Insignis y un Tilia tomentosa.

El túnel continúa con la configuración a dos niveles hasta pasados los accesos a la estación de la Marina, en el PK 1+880, evitando la afección al edificio del Instituto de Estudios Portuarios. A partir de este PK el túnel vuelve a la configuración de un nivel.

Se prevén dos entradas y salidas a los futuros aparcamientos del Muelle 4. Éstas se situarían en la nueva rotonda de Alameda de Colón con Heredia, con acceso desde superficie, y en la plaza de la Marina, con acceso directamente desde los túneles. Con esta configuración los accesos a los aparcamientos se situarían en los extremos. Si fuera necesario reubicar un acceso y situarlo entre Alameda de Colón y la plaza de la Marina, tan sólo se deprimirían los ramales de acceso desde túnel E-O, que pasarían por debajo del túnel O-E para conectar con el aparcamiento. No se deprimiría el tronco del túnel.



Posibles accesos al futuro parking de Muelle 4



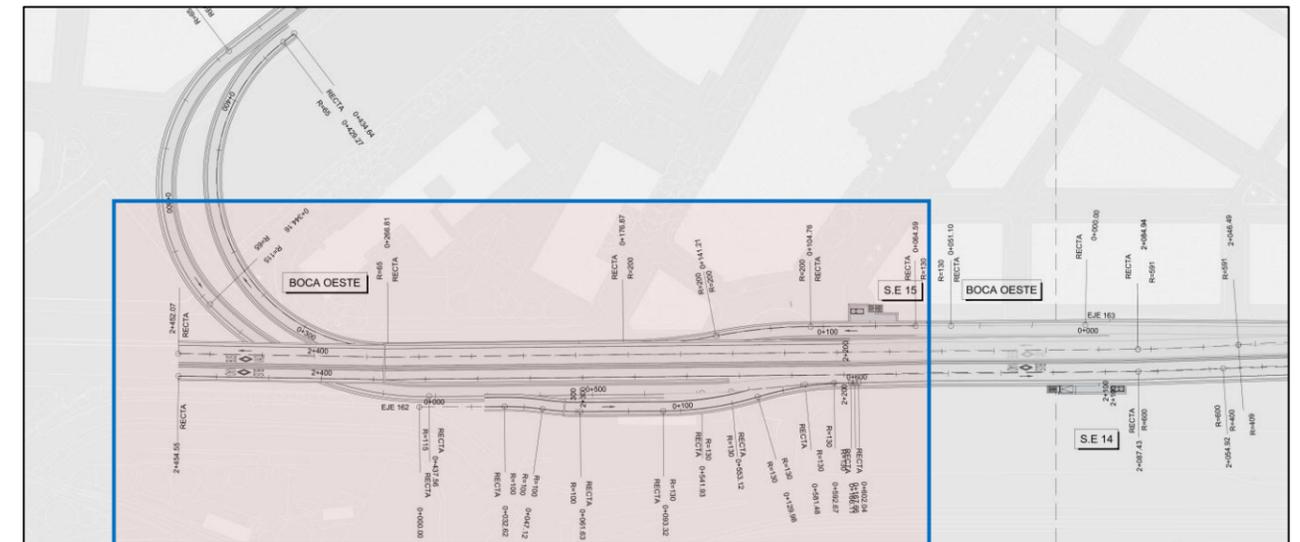
Sección tipo Heredia

Finalizando el recorrido del túnel de este a oeste, la boca oeste se sitúa entre el río Guadalmedina y la calle Alemania para las rampas de acceso al túnel.

Se habilita un único carril de salida hacia la Alameda de Colón y se configuran dos carriles pasantes bajo la plaza de Agustín Heredia, uno exclusivo para BUS-VAO y otro para el resto de los vehículos.



Configuración de las rampas de la boca oeste



Tramo de estudio de la compatibilidad con la alternativa B del estudio de alternativas

### 6.2.1 ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD CON LA ALTERNATIVA B DEL ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Según requerimientos del PPT del contrato se ha analizado la compatibilidad del trazado proyectado con la alternativa B del Estudio de Alternativas previo, que propone una solución de continuidad del túnel por los márgenes del río Guadalmedina hacia el norte en una fase de ejecución futura.

El tramo de compatibilidad con el trazado de la Alternativa B consiste en encajar dos calzadas de un carril cada una, que parten del túnel principal y que, pasando bajo el río Guadalmedina, conectan con los túneles correspondientes a la Alternativa B.

Las rampas de salida del túnel principal se acercan al estribo del puente sobre el río Guadalmedina para poder encajar las rampas de acceso desde la superficie y los ramales de conexión con los túneles de la Alternativa B.

El diseño en planta de la conexión con la Alternativa B se define mediante los ejes 161 (ramal de conexión sentido O-E) y 163 (ramal de conexión sentido E-O), línea blanca derecha de cada uno de los sentidos del túnel. Desde el puente, se conecta con el túnel a través de los ejes 160 (túnel sentido O-E) y 164 (túnel sentido E-O). El eje 160 permite el ingreso al túnel con un carril BUS-VAO, mientras que la rampa del eje 162 (ramal de conexión sentido E-O) se utiliza para el tráfico del resto de vehículos.

El trazado en alzado se define en línea blanca derecha del túnel. Las rampas de salida del túnel principal se ubican más cerca del río para poder encajar los distintos ramales y rampas de conexión.

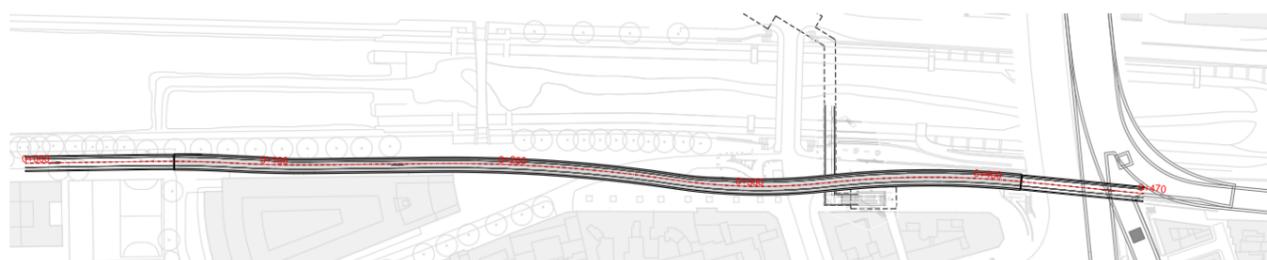
El eje 161, ramal de conexión sentido O-E, cruza el río a la cota -10 y permanece a esa profundidad hasta pasar por debajo de las rampas del túnel principal. Luego, con una pendiente del 5%, asciende hasta alcanzar la misma cota que el túnel principal, donde se une como el carril derecho del mismo.

El eje 163, ramal de conexión en sentido E-O, se separa del tronco del túnel principal después de pasar la conexión con la rampa de salida hacia la Alameda de Colón. Desciende con una pendiente del 7% hasta colocarse debajo del túnel principal. Luego, en planta, se aleja de la traza del túnel principal y comienza a ascender con una pendiente del 5%. Este ascenso continúa hasta llegar a la cota -10, lo que permite el paso bajo el río Guadalmedina en paralelo al eje 161.

El eje 162, ramal de conexión en sentido O-E, es la rampa de entrada desde el puente destinada a la circulación libre de vehículos. Esta rampa se diseña con una pendiente del 10%, comenzando desde el nivel de la Avenida Manuel Agustín Heredia y descendiente hasta alcanzar la cota del túnel principal donde se conecta.

### 6.2.2 ESTUDIO DE LA ALTERNATIVA DE UN RAMAL SOTERRADO POR COMANDANTE BENÍTEZ

Cabe mencionar que durante la redacción del presente Anteproyecto se ha analizado la viabilidad de un nuevo ramal soterrado que discurre paralelo al río Guadalmedina, por la ribera este, bajo la avenida comandante Benítez, en el ámbito de la fachada del museo de arte moderno de Málaga (CAC). El ramal conecta el tráfico proveniente desde el Este con el paso inferior existente bajo el puente de Tetuán dándole continuidad hacia el norte. El objeto de este ramal es aliviar el tráfico en la calle Alameda de Colón y Linaje, siendo éste el recorrido prioritario de los vehículos que se dirigen hacia el norte desde el túnel.



Planta general del ramal propuesto en fase 1B

El ramal se identifica como Fase 1B ya que su construcción se puede realizar en una fase posterior a la del túnel. El funcionamiento del túnel Eje Litoral Soterrado a todos los niveles, movilidad, seguridad, etc... no se ve afectado por la construcción de este ramal, pudiendo ser una obra independiente no siendo objeto de definición del presente Anteproyecto.

El nuevo ramal tan solo mejora el nivel de intensidad de tráfico en superficie en la Alameda de Colón y la calle Linaje, absorbiendo los vehículos que se dirigen hacia el norte.

El ramal tiene una longitud de 485m. La rampa de entrada se sitúa frente al CEIP García Lorca, quedando el túnel ya soterrado delante de la fachada del CAC. La salida emboca directamente en el paso inferior bajo el paso inferior del puente de Tetuán.

La sección se compone de un único carril de 3,50m. de anchura y 5m. de gálibo libre de paso. A ambos lados se disponen aceras para la evacuación en caso de accidente.

El perfil longitudinal viene condicionado por la presencia del pasillo de acceso del vestíbulo situado en la calle Comandante Benítez a la estación de cercanías de Málaga Centro. La presencia de este túnel de conexión obliga a pasar el nuevo ramal por debajo del mismo, situándose la rasante del ramal en la cota -9,00m. en el punto bajo. Las pendientes de las rampas se limitan al 8% como en el resto del túnel.

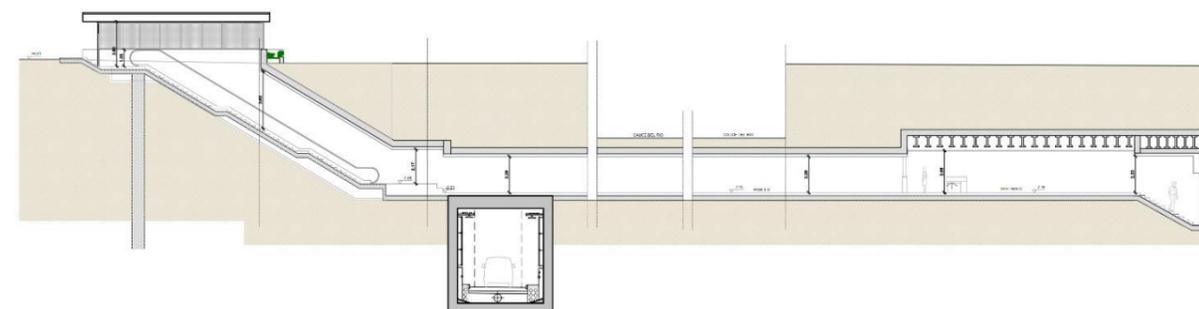
El trazado en planta de la fase 1B se define con el eje (eje 8), que se sitúan en línea blanca derecha del túnel.

El trazado se inicia la avenida Comandante Benítez, p.k. 0+000, con una recta de 53 metros, continua con un sucesión de radios 500 m de desarrollo, a continuación, una sucesión de recta, radio a derechas 641 m, radio a izquierdas 250 m, radio a derechas de 400 m y finaliza con una recta unos 66 metros tiene una longitud aproximada de 485 metros, que son las bocas de entrada y salida del túnel.

El trazado en alzado se define en línea blanca derecha del túnel, a continuación, se describe el trazado propuesto siendo los p.p.k. empleados los correspondientes al eje-8.

El origen de tramo se encuentra en el vial existente de la avenida Comandante Benítez en torno a la cota 4,70 y desciende con una pendiente del 8,0%, hasta llegar al primer punto bajo a una cota de -9,12 en el p.k. 0+213.

A partir de este punto el túnel sube con una pendiente suave del 0,5% hasta la cota -8,5 en el p.k. 0+338, en todo este tramo hemos salvado el pasillo de acceso del vestíbulo de la estación de cercanías de Málaga Centro, que pasan por encima del túnel.



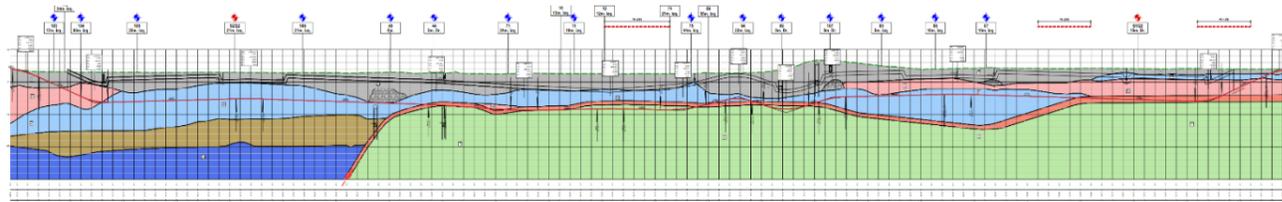
Sección tipo del túnel a su paso por el vestíbulo de la estación de cercanías de Málaga Centro

### 6.3 GEOLOGIA, GEOTECNICA E HIDROGEOLOGIA

En el Anejo 8 *Geotecnia* se analizan y estudian los condicionantes geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos relacionados con la obra Proyectada.

El objeto principal del anejo es aportar la información necesaria para el conocimiento geológico y la caracterización geotécnica de los materiales presentes en el subsuelo del corredor de estudio. También se recopilan todos los reconocimientos e investigaciones geológico-geotécnicas disponibles del entorno de estudio para que sirvan de base para el desarrollo de la siguiente fase constructiva de Proyecto. A tal propósito, cabe destacar que, a partir de los antecedentes citados, se ha podido recopilar e interpretar la información procedente de más de 80 sondeos a lo largo de la traza o en proximidad de la misma.

También se incluyen los datos y resultados procedentes de la campaña geotécnica llevada a cabo para complementar la información de antecedentes. Se trata de 2 perforaciones, 4 perfiles de geofísicas y varios ensayos in situ y de laboratorio.



*Perfil geológico de la traza del túnel*

No se ha hecho ningún sondeo en el Paseo de los Curas porque se disponen más de 30 sondeos en el entorno, de acuerdo con el informe encargado por Promálaga a Cemosá (expediente O/2204833).

La elección de complementar la información mediante geofísica se debe a la posibilidad de obtener datos continuos a lo largo de un perfil y a la posibilidad de calibrar dicha información con la información puntual de los sondeos, dispuestos en cada extremo. Cabe destacar que la técnica geofísica empleada no se ve influenciada por el ruido urbano (vibraciones) ya que no cuenta con la medición de las vibraciones mediante geófonos como ocurre con la sísmica de refracción, pues se basa en la medición de la resistividad del subsuelo mediante electrodos que no se ve afectada por la actividad de superficie. Por lo que el comentario parece malintencionado o fruto del desconocimiento.

La metodología elegida para complementar y correlacionar los datos ya disponibles, que se resume a continuación para mayor claridad, se considera adecuada tanto en el Paseo de los Curas como en toda la franja de estudio. También el conocimiento geológico del subsuelo del Eje Litoral se considera apropiado y argumentado, contando con un elevado número de ensayos. Evidentemente, en fases más avanzadas de Proyecto, la investigación geotécnica deberá ser completada para alcanzar un conocimiento pormenorizado del terreno (nivel constructivo). En esta circunstancia, se podrán diferenciar con mayor precisión las diferentes capas superiores mediante nuevos reconocimientos.

### 6.3.1 RESUMEN METODOLOGÍA EMPLEADA:

La interpretación del perfil geológico a lo largo del trazado se ha basado principalmente en una exhaustiva recopilación de sondeos previos, existentes en la zona de estudio. Dicho trabajo ha permitido coleccionar un total de 83 sondeos, perfectamente geolocalizados (coordenadas y cota), tal y como se muestra en la siguiente imagen.



*Sondeos geolocalizados en el ámbito de estudio (83)*

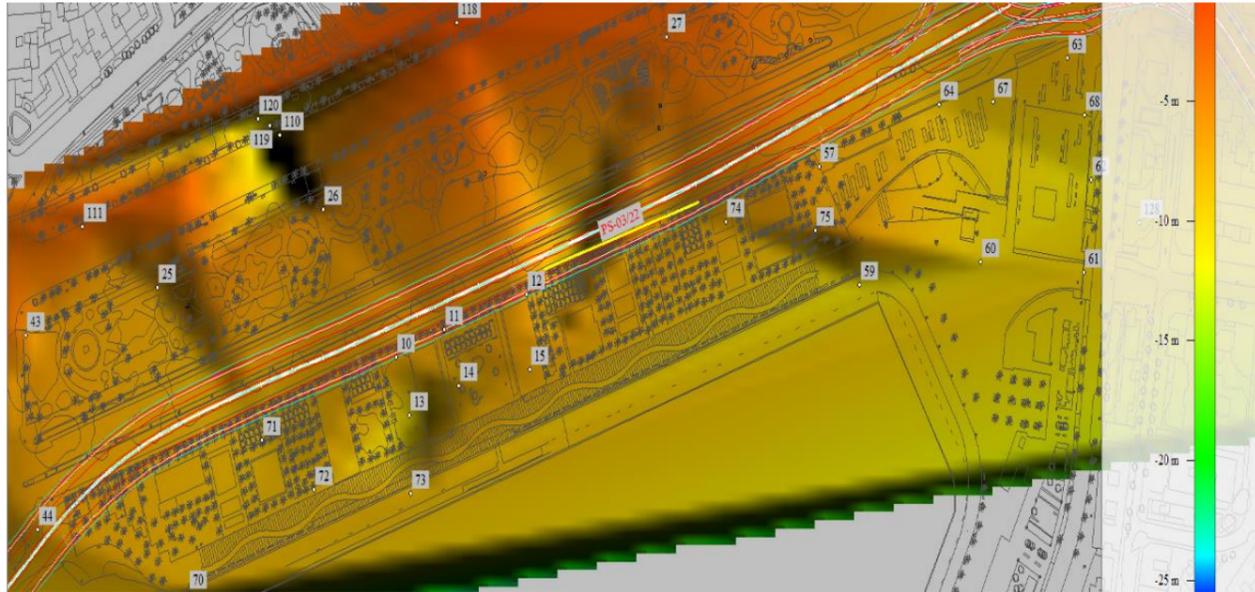
La obtención de gran parte de estos datos se debe al trabajo contratado por Promálaga a una empresa externa que cuenta con una experiencia decenal en este ámbito. El trabajo, con expediente O/2204833, ha sido realizado por la delegación de CEMOSA en Málaga.

Tras la revisión de los antecedentes disponibles, se han identificado las zonas con baja densidad de información, apoyándose además en un mapa en 3D en el que se ha representado la profundidad de la roca sana según datos de antecedentes.

Con la finalidad de alcanzar un conocimiento del terreno adecuado para un estudio geotécnico de Anteproyecto, la información de antecedentes se ha complementado con una campaña adicional que consta de 2 sondeos y 4 perfiles geofísicos. La localización de las investigaciones refleja unas exigencias específicas para completar la información disponible en sectores concretos. De este modo, en la zona inicial del trazado (en el ámbito del Paseo Marítimo), donde no existen ensayos de antecedentes que reflejen la profundidad del substrato rocoso, se ha concentrado el 50% de la campaña (1 sondeo y 2 perfiles geofísicos).

Otra zona, en la que se ha considerado importante ampliar el conocimiento geológico geotécnico, es el Paseo de los Curas. En este sector, se cuenta con datos procedentes de numerosos sondeos (más de 30), parte de ellos están localizados en el trazado del Metro, a lo largo del Paseo del Parque y parte están en el sector del muelle 1 y 2. La interpolación transversal de estos sondeos ha permitido la interpretación del substrato rocoso a lo largo de la traza del Eje Litoral. Donde los datos presentaban una menor densidad (entre sondeo nº 12 y nº 74), se ha llevado a

cabo una investigación geofísica correlacionando los dos sondeos.



Investigación geofísica realizada por ESTEYCO para el anteproyecto

La elección de complementar la información mediante geofísica se debe a la posibilidad de obtener datos continuos a lo largo de un perfil y a la posibilidad de calibrar dicha información con la información puntual de los sondeos, dispuestos en cada extremo. La técnica elegida (tomografía eléctrica) no permite diferenciar entre suelos de diferente naturaleza (depósitos de playa, de río, rellenos antrópicos o rocas muy alteradas) a diferencia de los sondeos con recuperación de testigo, pero permite discriminar entre materiales duros (rocas sanas) y blandos. Con esta técnica se discrimina bien el techo del substrato rocoso sano, pero no se detecta el techo del material rocoso alterado, geotécnicamente asimilable al suelo cuaternario superior. Esta discriminación entre materiales duros y blandos se ha considerado más relevante, dadas las peculiaridades del Proyecto, que la definición pormenorizada de las diferentes capas litológicas o la identificación precisa del espesor de Maláguide alterado.

También los sondeos llevados a cabo para la cimentación de los edificios dispuestos en el Muelle 2 no discriminan entre los diferentes tipos de suelos y rocas alteradas, detectando la profundidad de la roca sana para el empotramiento de las cimentaciones. Por ello, se ha representado, de forma general, una capa de 2m de espesor de roca alterada, donde no se dispone de un dato directo, siendo más relevante, en este entorno, el conocimiento geotécnico del contacto entre materiales “duros y blandos” que la discriminación litológica de los suelos que tapizan el Maláguide sano.

### 6.3.2 GEOLOGÍA:

Desde un punto de vista geológico general, la zona de estudio se encuadra en el ámbito del Complejo Maláguide dentro de las Zonas Béticas. En específico, el trazado de estudio se puede subdividir en dos sectores principales:

- Entre los PPKK 0+000 y 1+700 aproximado, en el que el substrato está formado por rocas paleozoicas (pizarras, filitas y esquistos, principalmente), situadas a una profundidad comprendida entre 8 y 15 metros, tapizadas por sedimentos cuaternarios y rellenos antrópicos.
- Entre los PPKK 1+700 y 2+400 aproximado, donde el macizo rocoso se hunde bajo los sedimentos marinos de cuenca terciaria que, en este sector, conforman el substrato generalizado, a una profundidad de 13-17 metros, que también se encuentran recubiertos por los sedimentos cuaternarios y los rellenos antrópicos superiores.

Desde un punto de vista geotécnico, la recopilación de los antecedentes y los ensayos realizados en fase de estudio, han permitido caracterizar los materiales afectados por la obra proyectada. En la siguiente tabla se resumen los parámetros geotécnicos más relevantes de las unidades geotécnicas reconocidas.

RESUMEN PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	DENSIDAD NATURAL	ÁNGULO DE ROZAMIENTO EFECTIVO	COHESIÓN EFECTIVA	COHESIÓN NO DRENADA	COEFICIENTE DE EMPUJE AL REPOSO	COEFICIENTE DE POISSON	MÓDULO ELÁSTICO	MÓDULO DE BALASTO HORIZONTAL	PERMEABILIDAD	COEFICIENTE DE PASO PARA RELLENOS	COEFICIENTE DE PASO PARA VERTEDERO	
	$\gamma_s$	$\phi'$	$c'$	$C_u$	$K_0$	$\nu$	$E_s$	$K_h$	$k$	$C_R$	$C_V$	
	kN/m <sup>3</sup>	°	kPa	kPa	-	-	MPa	MN/m <sup>3</sup>	m/s	-	-	
RELLENOS	R	19	27	0	-	0.546	0.35	8	2	5·10 <sup>-5</sup>	-	1.00
SUELOS CUATERNARIOS CONTINENTALES	Qc	20	32	0	-	0.470	0.32	25	15	1·10 <sup>-4</sup>	1.12	0.94
SUELOS CUATERNARIOS MARINOS	Qm	19	28	10	-	0.531	0.33	18	10	5·10 <sup>-6</sup>	1.15	0.95
SUELOS TERCIARIOS GRANULARES	Tg	19	30	5	-	0.500	0.33	30	22	1·10 <sup>-4</sup>	0.98	0.83
SUELOS TERCIARIOS COHESIVOS	Tc	20.5	27	70	150	0.546	0.34	60	50	1·10 <sup>-9</sup>	-	0.89
ROCA ALTERADA	PaIt	23	33	25	-	0.455	0.30	330	175	1·10 <sup>-6</sup>	1.05	1.10
ROCA SANA	P	26.6	50 (*)	70 (*)	RCS= 9.6 MPa T <sub>trac</sub> = 4 MPa (#)	0.230	0.24	3500	1000	5·10 <sup>-8</sup>	1.10	1.20

Parámetros geotécnicos de las unidades geotécnicas reconocidas

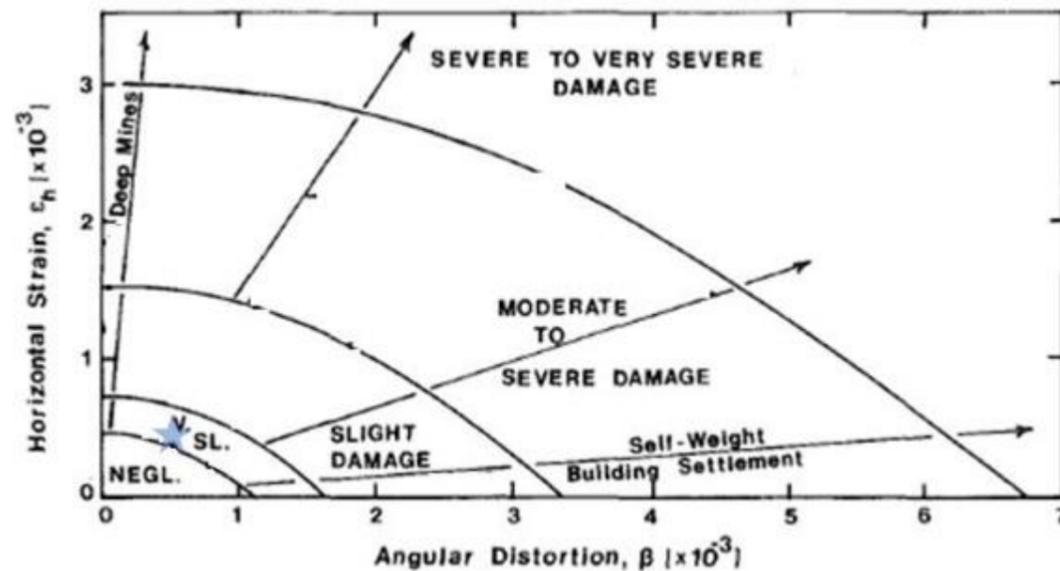
En fase de cálculo, se deberán tener en cuenta, dado el contexto tectónico de la ciudad, de los efectos sísmicos. En particular, para un T=475 años, se definen:

- PGA= 0.16 g
- K=1

El estudio geotécnico permite definir, según un alcance de anteproyecto, el empotramiento de las pantallas y, donde necesario, la necesidad de llevar a cabo un tapón de jet-grouting en la zona donde el substrato rocoso se hunde, a partir del PK 1+700 aproximado.

También se realizan modelos preliminares mediante elementos finitos en los que se evalúan las deformaciones inducidas por la excavación subterránea en los edificios y estructuras colindantes.

El estudio revela la viabilidad de la obra, con distorsiones angulares y deformaciones despreciables.



*Relación entre distorsiones angulares y tensiones horizontales*

El estudio también presenta un análisis de procedencia de materiales, con una propuesta de aprovechamiento de los materiales excavados y un inventario de explotaciones e instalaciones externas a la obra que podrían suministrar materiales de calidad a la obra.

En la presente fase de Anteproyecto se ha identificado la afección que puede causar la construcción del túnel en relación con las fluctuaciones del nivel freático en el ámbito. Se prevén medidas para evitar el posible efecto barrera que puede provocar la construcción del túnel, así como una dotación económica. En este caso, se prevén sistemas de by-pass a diferentes niveles que conectan el acuífero a ambos lados del túnel. Cuando se disponga de un estudio hidrológico completo, a realizar en fase de proyecto constructivo, se podrán acabar de definir con más detalle estas propuestas que eviten las fluctuaciones del nivel freático actual a causa del túnel. En todo caso, el túnel a 2 niveles provoca una mayor afección a los flujos de aguas freáticas existentes.

El anejo finaliza presentando algunas consideraciones relacionadas con la geotermia, con la obtención de algunos parámetros para el aprovechamiento de la energía de baja entalpía. En este sentido, se promueve el aprovechamiento de la superficie de gran desarrollo en el terreno que presentan las pantallas previstas.

#### 6.4 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

Como criterio general, en el estudio de alternativas del Anteproyecto se ha realizado un predimensionamiento de las secciones tipo más desfavorables, según el elemento estructural, quedándose siempre en el lado de la seguridad.

Adicionalmente, por ser condicionante de la viabilidad del proyecto, se han estudiado con mayor detalle las secciones de Cánovas del Castillo, por el ancho disponible, y la del Paseo de los Curas por tener un proceso constructivo distinto. El resto de los elementos deberán optimizarse en el Proyecto Constructivo.

En cualquiera de los casos, la sección del túnel está formada por un recinto de pantallas empotradas en rocas o en suelos terciarios bastante impermeables, en las que se conectan las losas superior e inferior. El procedimiento constructivo para ejecutar esta sección se plantea con la metodología "cut & cover".

Siguiendo la traza, el espesor de las pantallas varía en función del terreno a contener y la posibilidad de empotramiento en roca.

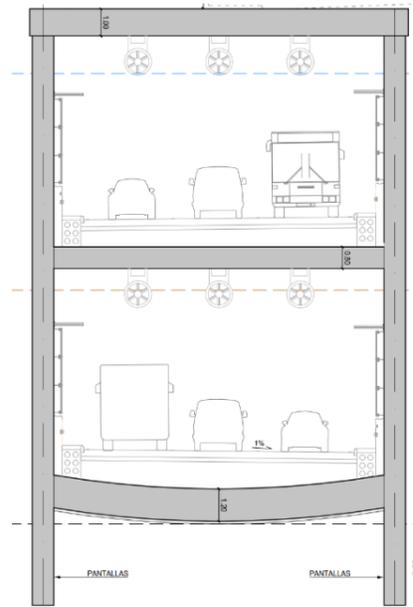
Como se expone en el apartado anterior, según el criterio técnico de Esteyco y la contrastada experiencia en proyectos urbanos similares, el túnel requerirá de hidrofresa cuando atraviesa el estrato rocoso sano o en pantallas muy profundas (en torno a los 35m).

El único inconveniente de la hidrofresa es su mayor coste, pero una vez movilizados los medios siempre se suele tratar de amortizar, extendiendo su uso en la obra. En el resto de los aspectos (seguridad, rendimiento, riesgo de tecteo de paneles, tolerancia de ejecución, perpendicularidad, estanqueidad de la junta, etc...) es una mejora considerable respecto a la pantalladora de cuchara.

Además, al preverse el uso de hidrofresa para realizar las pantallas en estos tramos la presencia de escollera no supondría ningún problema para la ejecución de las pantallas o del resto de la obra tal y como está definida en el Anteproyecto.

Los espesores del resto de los elementos estructurales están condicionados por su forma, longitud y las cargas aplicadas en él. Para optimizar sus dimensiones, en los puntos donde los elementos tienen mayores cargas y/o longitudes, se han diseñado con forma abovedada (óptima para trabajar bajo grandes compresiones verticales) y así ayudar al comportamiento estructural global, permitiendo reducir sus dimensiones.

De esta manera, las losas inferiores o soleras del túnel se diseñan como contrabóvedas de hormigón armado para que la forma arqueada ayude a optimizar espesores, ya que el efecto de la subpresión es muy significativo debido a la cota superficial del nivel freático.



Sección tipo del túnel en el tramo con 3 carriles por sentido

Su espesor varía a lo largo de la traza en función de los metros de columna de agua a los que está sometida.

En el caso de la losa superior, la carga más desfavorable para su dimensionamiento es el peso de tierras. Cuando se puede ajustar la cota superior de la cubierta a 1,50 metros respecto la cota de urbanización, su espesor es de 1,00 m si se dispone de pantalla central o de 1,20 metros si solo está apoyada en las pantallas laterales.

La impermeabilización de la cubierta del túnel se realizará mediante un tratamiento con poliurea aplicado sobre el hormigón armado. Sobre la impermeabilización se dispondrá una protección de hormigón con fibras de un mínimo de 5cm de grosor. Con este hormigón se conformarán las pendientes a dos aguas sobre la cubierta para evitar el estancamiento del agua sobre la misma.

La impermeabilización del interior del túnel se realizará con una lámina de PEAD, TPO o PVC entre el hormigón de limpieza y el hormigón armado de la contrabóveda, generando una impermeabilización tipo "sándwich" que se comporta muy bien con altas presiones de agua, como es este caso. La lámina se remontará entre el muro de protección lateral y la pantalla. Asimismo, sobre el muro de protección lateral se dispondrá una canal que permita recoger las aguas infiltradas por la pantalla. Esta canal se conectará al drenaje del túnel.

En el proyecto constructivo se considerarán los datos sísmicos según el Eurocódigo 8.1 y el mapa de peligrosidad sísmica para periodo de retorno de 475 años. Especial atención al potencial de licuación de los materiales Qm y el riesgo de inundación por tsunami, para que el equipo de drenaje pueda considerar las consecuentes medidas.

En cualquier caso, las consideraciones respecto al sismo no tendrían influencia en la selección de una alternativa u otra y se desarrollarían en etapas posteriores del proyecto.

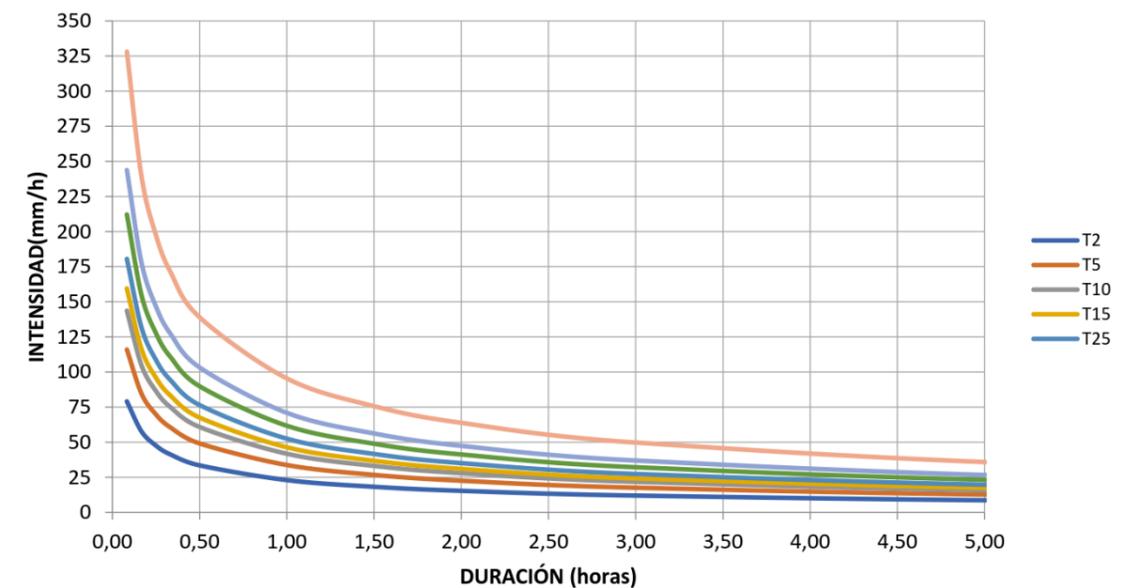
## 6.5 HIDROLOGÍA Y DRENAJE

Desde el punto de vista del drenaje, se diseña un sistema que sea capaz de evacuar las aguas tomando como metodología de cálculo y diseño la "Hidrología urbana".

El primer paso consiste en la determinación de los caudales de diseño, caudales que han sido calculados en los diversos elementos para diferentes periodos de retorno, según la importancia de los daños que ocasionaría una potencial insuficiencia de los mismos durante una avenida. El estudio de caudales se ha realizado siguiendo el Método Racional.

A continuación, se prediseñan y dimensionan dichos elementos aplicando el método de dimensionamiento hidráulico.

## CURVAS IDF



Curvas IDF para los diferentes periodos de retorno. Fuente: EMASA

Como en todo estudio de drenaje, y más en trama urbana o periurbana, se hace necesario analizar en primer lugar la red de drenaje existente en la zona de proyecto, con el fin de comprender mejor las características hidrológicas y el funcionamiento actual del drenaje en la zona de proyecto, así como detectar posibles deficiencias que, con motivo del presente proyecto, se pudieran dejar resueltas.

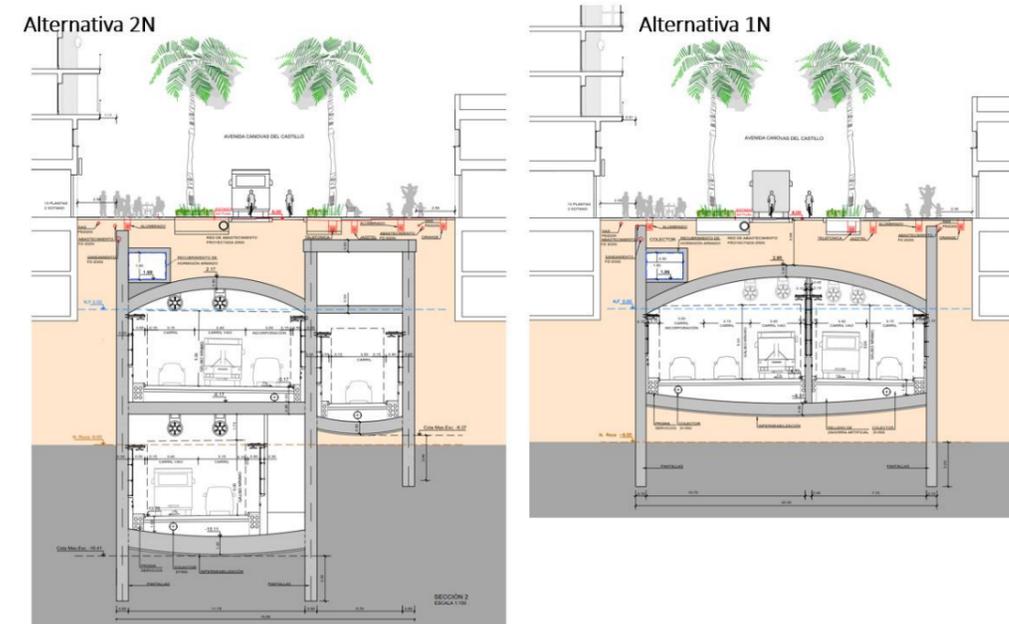
En el tramo en estudio no se intercepta ninguna cuenca exterior a la propia plataforma y márgenes del túnel, de modo que el documento estudiará únicamente los elementos de drenaje longitudinal.

El objeto del presente estudio es el de definir, a nivel de anteproyecto, todas las actuaciones necesarias para posibilitar la conexión de la red general de EMASA con la nueva red del anteproyecto del eje litoral soterrado, razón por la que el drenaje de esa zona consistirá en la adecuación del existente a la nueva proyectada.

A nivel de urbanización y viales en superficie, el drenaje debe constar de los siguientes elementos:

- Arquetas sumideros/imbornales: Se disponen a borde de calzada junto a la acera y evacuarán el caudal recogido al colector  $\phi$  400 mm que se dispone longitudinalmente.
- Las rejillas de cubrimiento de los sumideros serán de hierro fundido para clase de carga D-400.
- Colector PVC  $\phi$  315 mm: Se dispone tubo de drenaje de PVC corrugado de doble pared SN-8 como conexión entre las arquetas sumidero y los pozos de registro del colector de recogida de la red de imbornales. La pendiente con la que se disponen estos, es variable en función de la cota de desagüe en los pozos de registro, con un mínimo del 2%.
- Colectores  $\phi$  400 mm y superiores: Se disponen tubo de drenaje de PVC corrugado de doble pared SN-8 longitudinalmente en los viales, hasta su conexión a la red de saneamiento existente

Además, la propuesta proyectada es compatible con el futuro encauzamiento del arroyo Calvario, con el futuro colector de pluviales del Soho y con la construcción de un tanque de tormentas en la zona de avda. Heredia. En avda. Cánovas, la ubicación del desvío del arroyo Calvario requiere que el túnel se ubique más profundo, por lo que se está considerando la construcción de una bóveda en la parte superior de esta sección.



Sección Cánovas compatible con colector en alternativas en 1 y 2N

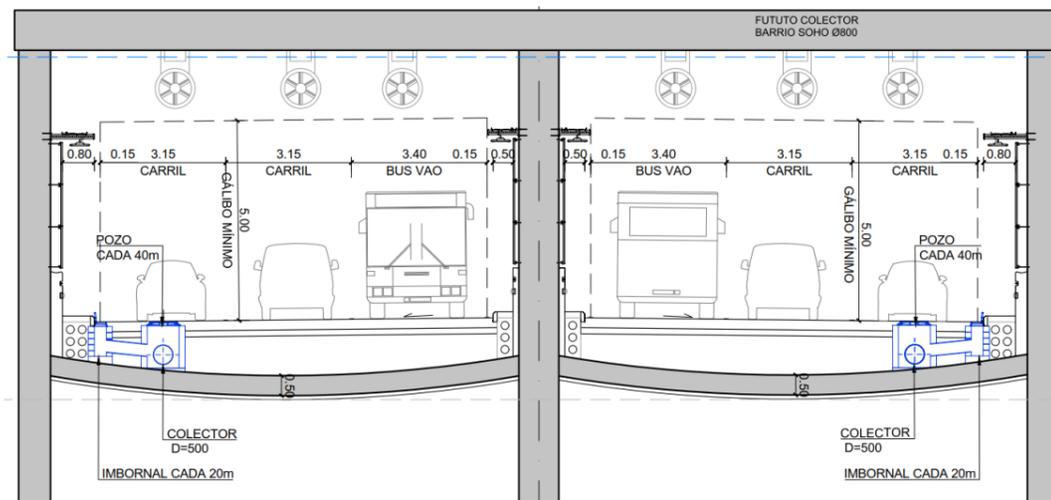
En cuanto al túnel, en este tipo de obra la presencia de agua es un factor que atañe tanto a la estabilidad como a la durabilidad de la misma. Se contrarrestan sus efectos en dos frentes:

- Impermeabilización. Mediante muros pantalla en los laterales y una contrabóveda sellando las juntas y haciendo de barreras impermeables al agua.
- Drenaje. Una vez que las aguas, por escorrentía superficial a través de las rampas o por infiltración, han conseguido acceder a las instalaciones, se dispone de un sistema para evacuarlas mediante:
  - Drenaje longitudinal: a lo largo de toda la traza del túnel que también se encarga de captar el agua que se infiltra a través de las pantallas
  - Sistema de dos pozos de bombeo en los puntos bajo del túnel.

En el drenaje longitudinal, las aguas interceptadas y que alcanzan finalmente la plataforma del túnel son captadas mediante rejillas sumideros y conducidas hacia los colectores que se encargan de transportar el agua hasta los pozos de bombeo desde donde se bombea el agua recogida al río Guadalmedina o un cauce cercano (punto de vertido directo independiente de la red de alcantarillado).

La solución proyectada consta de los siguientes elementos:

- Canaleta longitudinal 160 mm de ancho y 100 mm de alto: Se dispone en el margen de la acera más próximo a las pantallas sobre el muro, con objeto de recoger las posibles filtraciones que pudieran producirse.
- Arquetas sumideros/imbornales: Se disponen cada 20 m a lo largo del túnel y al borde de calzada junto a la acera y evacuarán el caudal recogido al colector  $\phi$  500 mm que se dispone longitudinalmente. Las rejillas de cubrimiento de los sumideros serán de hierro fundido para clase de carga D-400.
- Colectores  $\phi$  500 mm: Se disponen longitudinalmente en calzadas y en las rampas de acceso/salida al túnel. Su función principal es la recogida de la escorrentía superficial debida a las aguas de lluvia (en zonas de rampas de acceso/salida al túnel), posibles vertidos ocasionales y recogida de aguas procedente de operaciones de mantenimiento y limpieza, además de las procedentes de posibles infiltraciones.



Disposición de los elementos de drenaje en el interior del túnel

Se planifican dos pozos de bombeo estratégicamente ubicados en los puntos más bajos determinados por el perfil longitudinal del túnel proyectado. En estos puntos, se captura el agua proveniente de la escorrentía superficial, la cual se recoge de las calzadas mediante rejillas sumideros. Estas rejillas guían el agua hacia los colectores, encargados de transportarla hasta el pozo de bombeo.

Cada pozo de bombeo estará compuesto por un depósito, ya que se ha diseñado una red unitaria. Esta red recoge, por un lado, el agua de la escorrentía superficial, y, por otro lado, el agua freática que se infiltra a través de las pantallas, ambas van a parar al colector central.

El primero pozo, ubicado en el punto kilométrico 0+500, se encarga de bombear al río tanto el agua de infiltración del túnel entre los puntos kilométricos 0+000 y 0+876 (situado en el tramo "Paseo Marítimo Pablo Ruiz – Plaza del

General Torrijos") como el agua de lluvia proveniente de las bocas Este del túnel y del ramal de entrada y salida en la zona de la Plaza de Torrijos.

El segundo pozo de bombeo se diseña en las proximidades de la futura estación de la Marina, en el punto kilométrico 1+820. Desde este punto, se bombea hacia el río Guadalmedina o un cauce cercano (punto de vertido directo independiente de la red de alcantarillado) tanto las aguas de escorrentía que ingresan al túnel a través de los ramales de entrada y salida del Paseo de los Curas, como también las que provienen de los ramales de entrada y salida del túnel ubicados en la Avenida de Manuel Agustín Heredia como el caudal que entra por la boca Oeste del túnel.

id	ID Cuenca	Área(m2)	DENOMINACION	Pozo asociado	Nombre
1	SC-BS-1	969,05	P.º Marítimo Pablo Ruiz	Pozo 1	Pozo P.º Marítimo
2	SC-BS-2	258,46	Plaza del Gral. Torrijos	Pozo 1	Pozo P.º Marítimo
3	SC-BS-3	325,74	Paseo de los Curas	Pozo 2	Pozo Plaza de la Marina
4	SC-BS-4	295,52	Avenida de Manuel Agustín Heredia	Pozo 2	Pozo Plaza de la Marina
5	SC-BS-5	665,55	BOCA OESTE	Pozo 2	Pozo Plaza de la Marina
6	SC-BI-1	985,09	P.º Marítimo Pablo Ruiz	Pozo 1	Pozo P.º Marítimo
7	SC-BI-2	263,63	Plaza del Gral. Torrijos	Pozo 1	Pozo P.º Marítimo
8	SC-BI-3	264,18	Paseo de los Curas	Pozo 2	Pozo Plaza de la Marina
9	SC-BI-4	375,62	Avenida de Manuel Agustín Heredia	Pozo 2	Pozo Plaza de la Marina
10	SC-BI-5	665,55	BOCA OESTE	Pozo 2	Pozo Plaza de la Marina

Cuencas y pozos asociados

Los criterios básicos de dimensionamiento de las bombas serán los siguientes:

- Las bombas serán del tipo centrífugas sumergibles, formando un solo cuerpo, el motor, bomba, partes mecánicas y conexiones eléctricas. Todo el conjunto estará previsto para estar total y parcialmente sumergido.
- Los aljibes y grupos de bombeo se dotarán de alarmas de nivel y estarán conectadas al centro de control de EMASA.
- Equipamiento de una tubería de impulsión por bomba desde el aljibe hacia el río Guadalmedina o un cauce cercano (punto de vertido directo independiente de la red de alcantarillado) en el caso de las dos bombas

de mayor capacidad. En cambio, la bomba más pequeña estará dotada de una tubería de impulsión que se encargará de transportar el agua freática a un sistema de aprovechamiento aljibe (red de baldeo) y que estará funcionando de forma continua.

El caudal a evacuar y el volumen del aljibe de las aguas de escorrentía se dimensionará en función de los cálculos hidrológicos. De esta manera, el volumen de agua a almacenar en el pozo de bombeo se deberá calcular a partir de los siguientes datos de partida:

- Se dimensionarán los pozos para que puedan almacenar la totalidad del agua caída durante una lluvia con un periodo de retorno de 50 años de lluvia.
- En cada pozo de bombeo se han dispuesto 3 huecos para disponer 3 bombas, con un esquema funcional en el que una de las bombas quedaría en reserva, mientras que la restante o restantes será de capacidad suficiente para evacuar el caudal de diseño en condiciones normales de operación. En situación de emergencia (avería o aumento excepcional e imprevisto del caudal) la bomba de reserva entra en operación.
- Una de estas bombas ha de ser de dimensiones pequeñas para que se encargue de desaguar el agua freática a un sistema de aprovechamiento aljibe (red de baldeo) y que estará funcionando de forma continua.

Con todo, el sistema de drenaje y bombeo proyectado permite evacuar los aportes de agua que puedan afectar al eje litoral soterrado en la ciudad de Málaga (pluviales e infiltraciones). Gráficamente queda definido en el presente proyecto mediante las secciones tipo y los planos de drenaje recogidos del documento "Planos". Para una correcta comprensión del presente anejo de Drenaje se debe consultar el documento de Planos ("Drenaje") donde queda definido el sistema de drenaje propuesto.

Las bases/criterios definidos para el diseño de la red de drenaje tanto en el interior de los túneles como en la urbanización de superficie, son los siguientes:

- El periodo de retorno adoptado para el dimensionamiento del drenaje en el interior del túnel es de T-50 años, acorde a lo recogido en la Norma 5.2.-IC "Drenaje Superficial", para pasos inferiores con dificultades para desaguar por gravedad.
- El periodo de retorno para el drenaje de la urbanización y viales en superficie será de T-10 años.
- El dimensionamiento de los mismos se realizará en régimen uniforme mediante las formulaciones de Manning, según lo recogido en la Norma 5.2.-IC. de Drenaje Superficial (2016).

- Se han tenido en consideración las prescripciones del Ayuntamiento de Málaga y de EMASA.

## 6.6 FIRMES

Se prevé ejecutar un firme de hormigón de 25cm. de grosor de tipo HF-4,5 para minimizar la carga de fuego en caso de incendio. En cualquier caso, para optimizar el mantenimiento del firme durante la fase de explotación del túnel, se proyecta una capa de rodadura de una mezcla bituminosa discontinua sobre el firme de hormigón de 3cm de espesor.

Entre la contrabóveda estructural del túnel y el firme se dispondrá un relleno con zahorra artificial. Bajo esta zahorra y sobre la contrabóveda se extenderá un encachado de gravas y un tubo dren que permitan recoger las aguas de infiltración.

## 6.7 SALIDAS DE EMERGENCIA

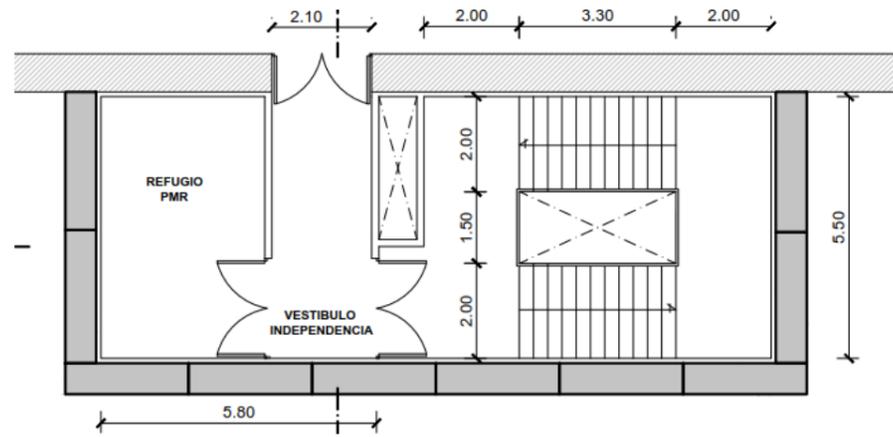
Para la evacuación de los usuarios se proyectan salidas de evacuación directas al exterior ubicadas en el lado derecho del túnel en el sentido del tráfico. Estas salidas estarán distanciadas a menos de 200 m entre ellas y se construirán con pantallas dando continuidad a las del túnel.

El acceso a la salida de emergencia se realiza con dos puertas EI-60 que se abren hacia el sentido de la evacuación. Estas puertas son antipánico, de 1 metro de anchura cada una produciendo una apertura de 2 m y una altura de 2,2m.

En cumplimiento con lo dispuesto en el Código Técnico de la Edificación se proyectan tramos de escalera de 12 peldaños, de 2 m de anchura y rellanos de 2 m.

La salida al exterior se hace por medio de una trampilla de 2 m de ancho por 5,5 de longitud. Los tramos de escaleras están separados por un hueco libre de paso de 1,5 m x 3,30 m para evacuación de literas.

Se dispondrán vestíbulos de independencia entre el túnel y la escalera de evacuación de un mínimo de 5m<sup>2</sup>.



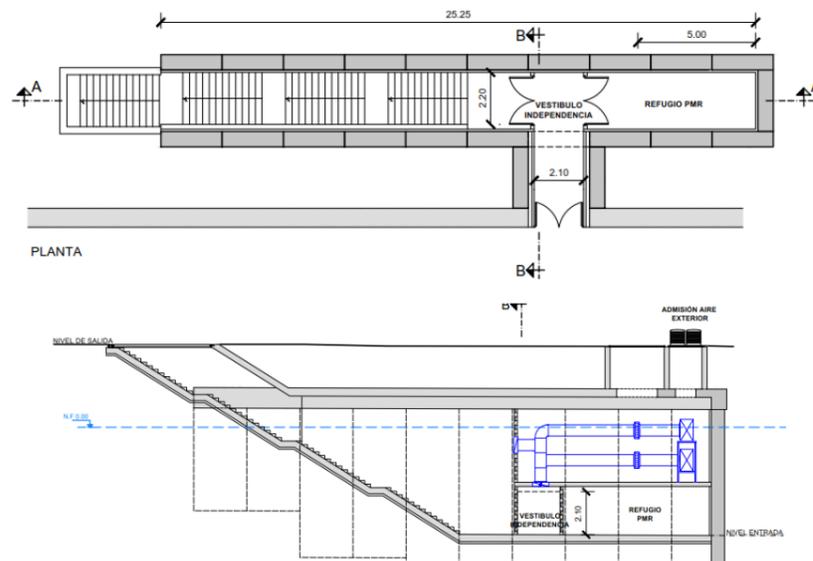
Planta general de la escalera de evacuación tipo

Tanto el recorrido de evacuación como el vestíbulo de independencia están sobrepresionados para evitar la entrada de humos en su interior en caso de incendio en el túnel.

Encontramos dos tipologías de salidas de emergencia según su proyección en planta.

### 6.7.1 SALIDA TIPO LONGITUDINAL

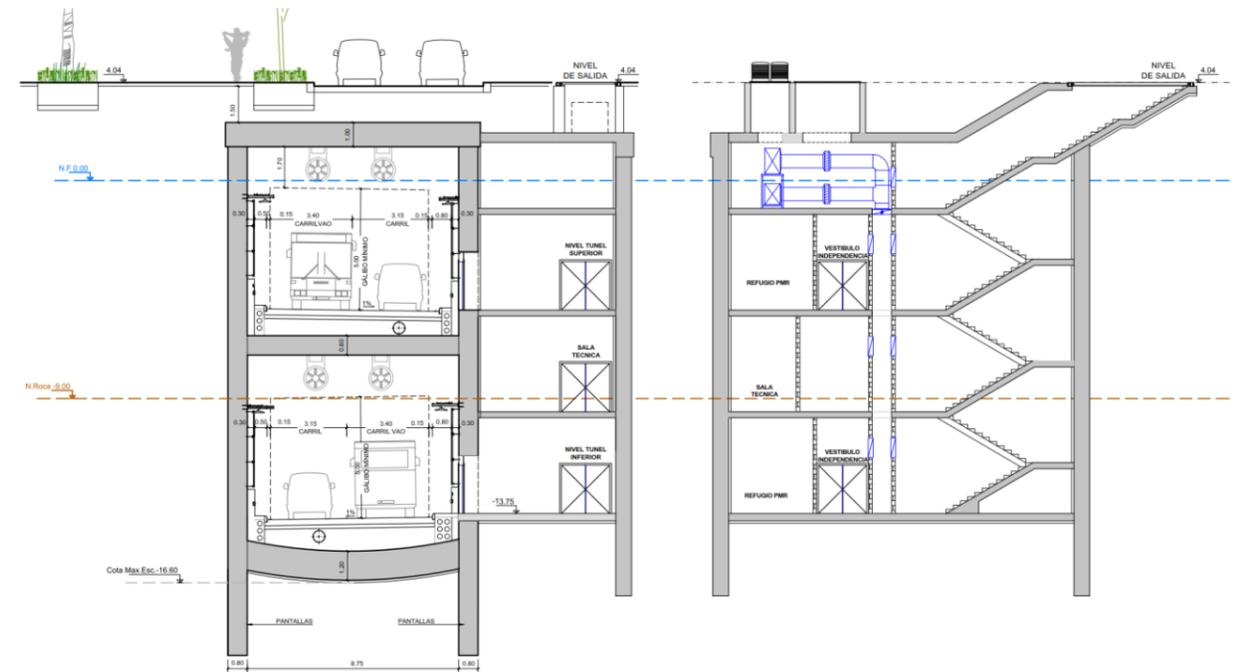
Este tipo de salida se encuentra solo en los tramos con sección de calzadas a un único nivel y se proyecta allí donde el espacio disponible entre la pantalla del túnel y los edificios es limitado. La distribución es longitudinal, siendo la escalera de evacuación rectilínea.



Planta y alzado de la escalera de evacuación longitudinal

### 6.7.2 SALIDA TIPO NUCLEO DE ESCALERA

Este tipo de escaleras de evacuación está formado por un núcleo de escalera rectangular, con niveles superpuestos. Permite evacuar por el mismo núcleo de escalera los dos niveles del túnel. Además, deja espacio para albergar una sala técnica en su interior y otra pequeña sala donde disponer los ventiladores de sobrepresión. Es la tipología de salida estándar proyectada.



Alzados de la salida de emergencia tipo núcleo de escalera

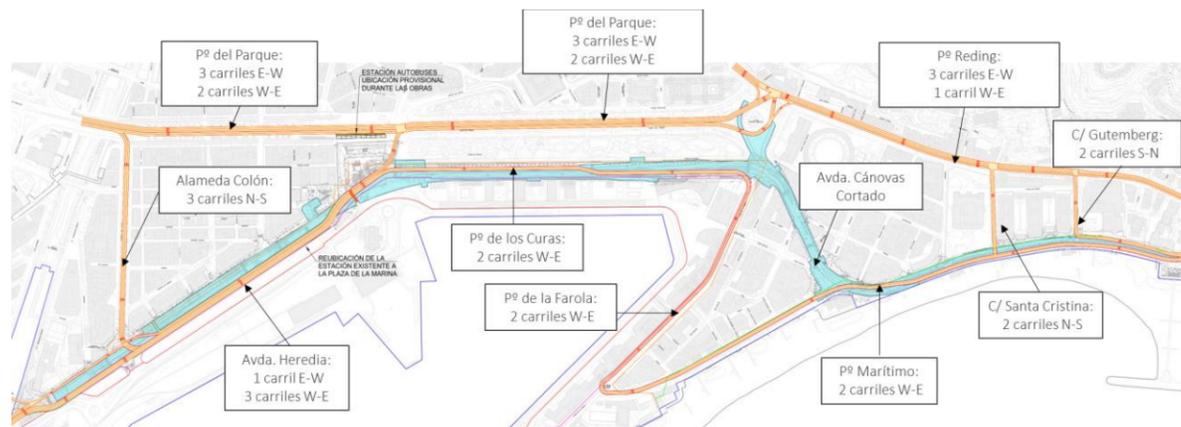
## 7. ORGANIZACIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El trazado del túnel discurre por una zona urbana consolidada, con la consecuente limitación de espacio y la imposibilidad de cortar las calles afectadas al tráfico en su totalidad. Este hecho condiciona el proceso constructivo con el que se ejecutarán las obras.

La construcción del túnel se ejecutará mediante el método "cut and cover", donde en una primera fase se ejecutan las pantallas laterales y la losa de cubierta. Una vez ejecutada la cubierta del túnel se procede a excavar bajo la misma y a realizar todos los trabajos del interior del túnel si afectar a la superficie.

Para mantener durante la ejecución de las obras tres carriles de circulación que absorberán parte del tráfico desviado por las mismas, será necesario ejecutar el túnel en tres fases.

1. En una primera fase se realizará el desvío de tráfico, basculando éste hacia un lado de la calle y liberando la zona donde se instalará la pantalladora, que ejecutará una pantalla lateral y la pantalla central en los tramos con sección tipo a un nivel. En esta primera fase se ejecutará la mitad de la cubierta del túnel apoyándola en estas dos pantallas.



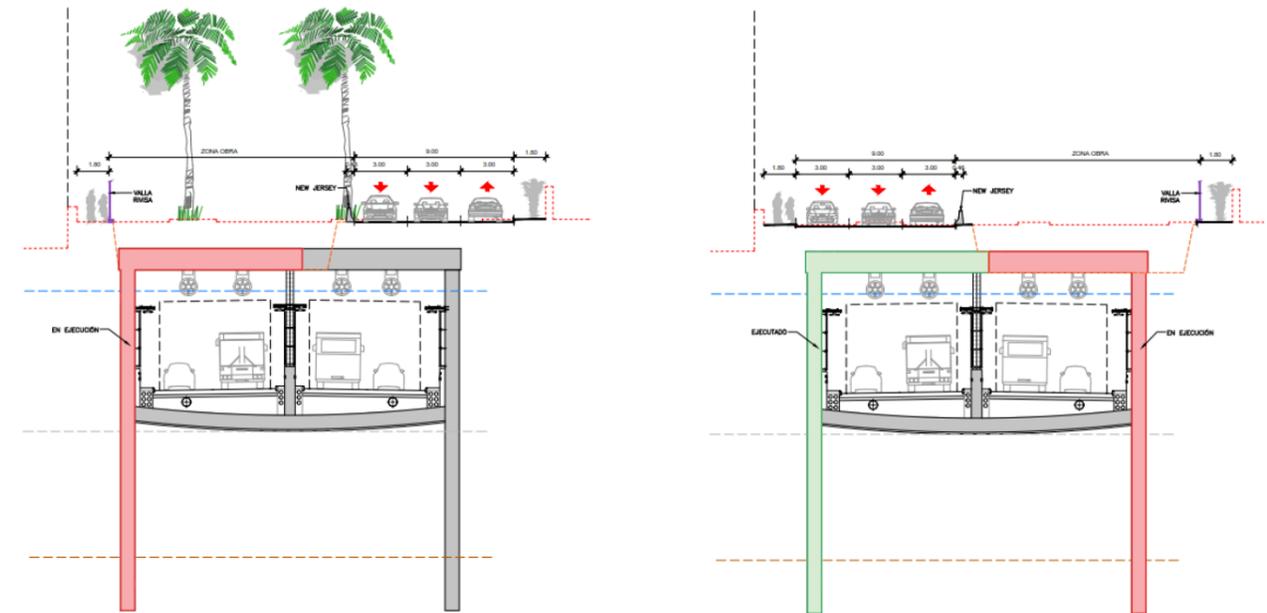
Fase 1

2. Una vez ejecutado este tramo de cubierta, se construye un vial provisional que permite desplazar el desvío de tráfico sobre ésta, liberando el otro lado de la calle permitiendo así ejecutar la otra pantalla lateral y el resto de la cubierta del túnel.



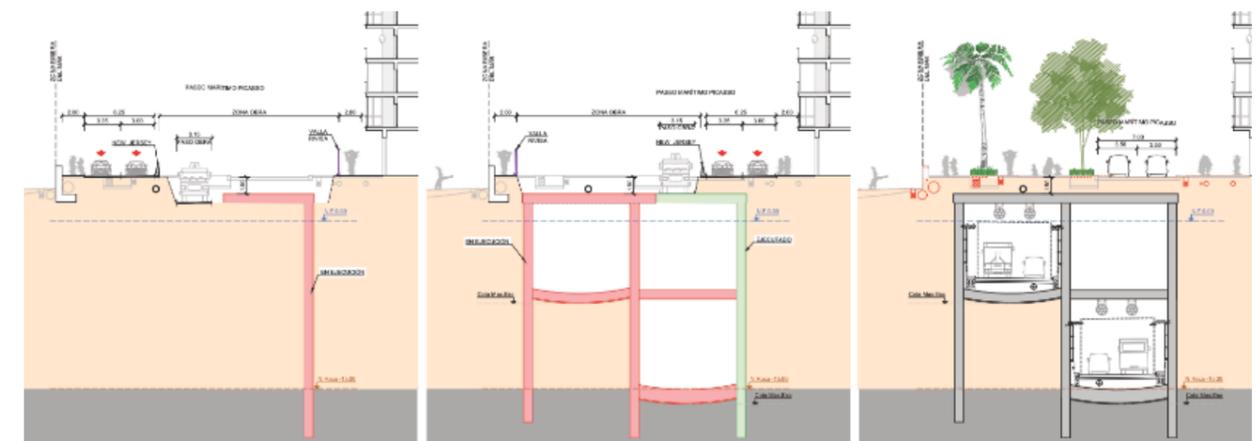
Fase 2

3. Una vez ejecutada la cubierta completa del túnel se puede reponer el tráfico en su situación inicial y proseguir con la excavación y el resto de los trabajos de construcción del túnel bajo la misma, minimizando la afección de las obras en superficie.

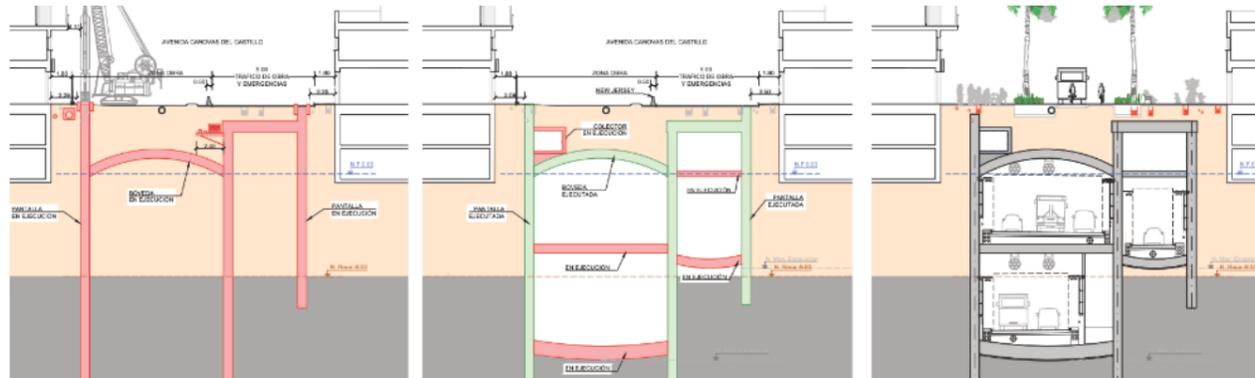


Fases de ejecución de las pantallas y cubierta

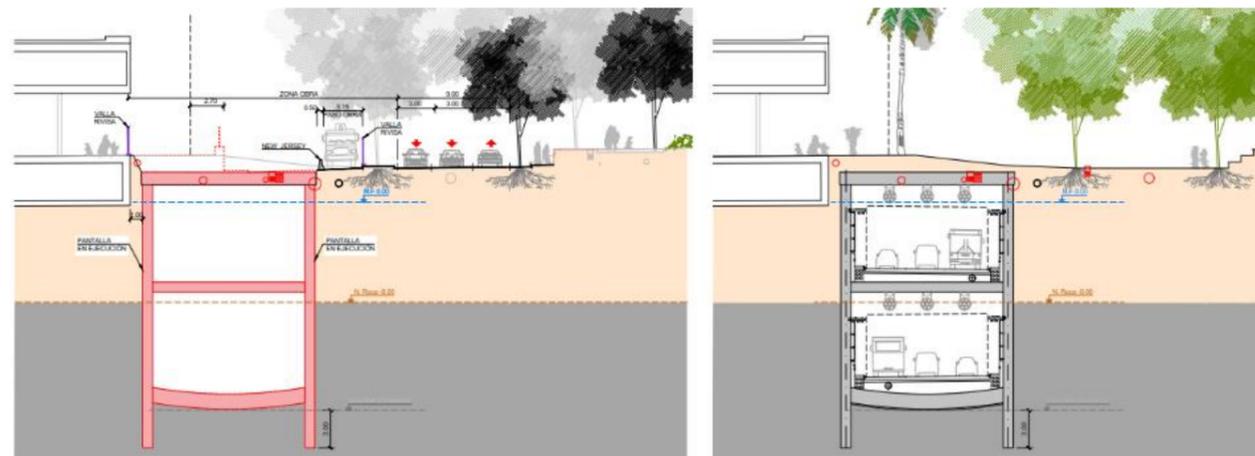
En los tramos del túnel con calzadas a doble nivel se prevé desviar el tráfico por un lado de la calzada y acometer las obras del túnel en una única fase. En la avda. Cánovas en cambio, por las características de la estructura del túnel, con cubierta abovedada y el poco espacio disponible entre edificaciones se prevé el corte total de la calle durante la ejecución de las pantallas del túnel, la cubierta y el cajón de hormigón que servirá de encauzamiento del arroyo del Calvario. Una vez finalicen estos trabajos se rellenará sobre la cubierta y se restituirá el tráfico mientras se continúan los trabajos en el túnel.



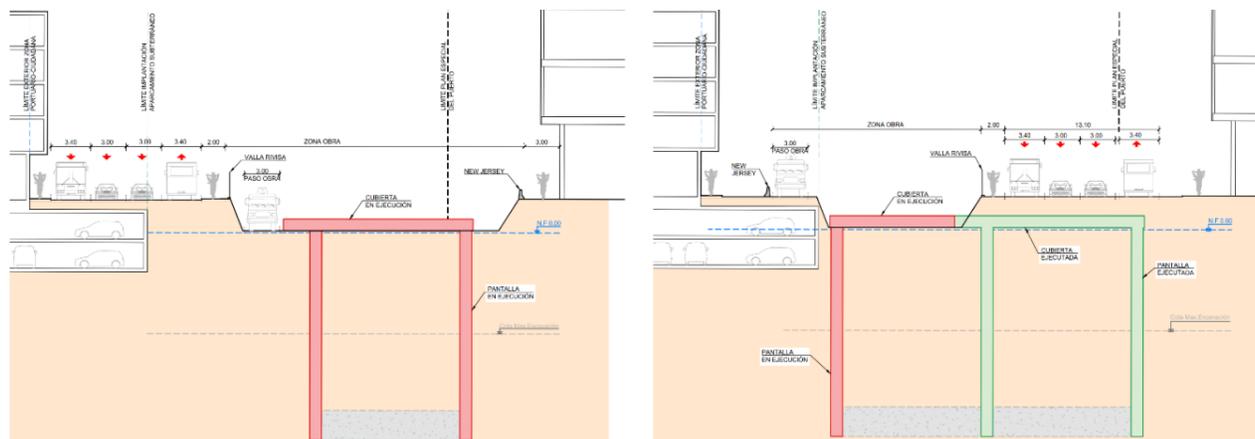
Desvíos de tráfico previstos en transición de 1 a 2N en el Paseo Marítimo.



Desvíos de tráfico previstos en Avenida de Cánovas del Castillo



Desvíos de tráfico previstos en Paseo de los Curas



Desvíos de tráfico previstos en Heredia

## 8. TRÁFICO Y MOVILIDAD

El estudio de movilidad que se ha desarrollado garantiza que el sistema funcione de forma completa e integral, es decir, asegurando la funcionalidad de cada modo y de todos los modos entre sí. **Prestando especial atención al transporte público metropolitano con el objetivo de fomentar y mejorar su uso.** Para conseguir los resultados esperados nos hemos basado en las estrategias del PMUS de Málaga, que se plantea objetivos importantes en materia de seguridad vial, en impulso decidido de los modos sostenibles de transporte y en la gestión de la movilidad a través de la Smartmobility.

### 8.1.1 OBJETIVOS

Los objetivos del estudio de tráfico y análisis de movilidad que se presenta son los siguientes:

1. Realizar un análisis y diagnóstico de la situación existente.
2. Valoración del impacto en el transporte público y actuaciones de mejora para fomentar su uso.
3. Estimar la prognosis de movilidad futura.
4. Modelizar las alternativas de diseño de la red viaria propuestas.

### 8.1.2 ANTECEDENTES

Los documentos que han servido de antecedente para la redacción de este estudio han sido el Estudio de la demanda de movilidad de Málaga (2014); el Estudio de análisis de la movilidad en la ciudad de Málaga (2018), elaborado por DOYMO; el Estudio de Simulación de tráfico de vehículos en hora punta en el eje litoral y ampliación, elaborado por Estudio 7; y el Plan Málaga Litoral, elaborado por el Ayuntamiento de Málaga.

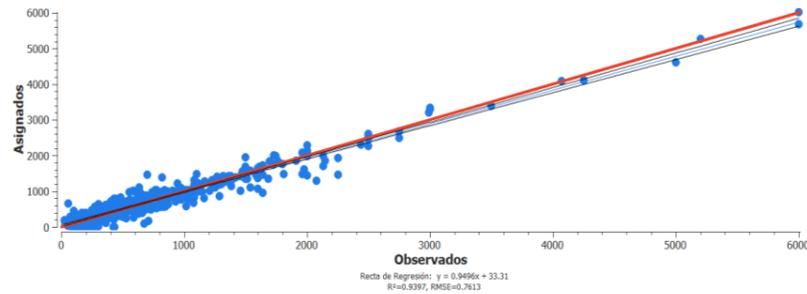
### 8.1.3 RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Para la realización del presente estudio de tráfico el primer paso ha sido la recopilación de los datos relativos a la movilidad general de la zona de estudio: Datos de las espiras disponible del Ayto. de Málaga; Informe de intensidades medias 1º cuatrimestre 2022 del Ayuntamiento de Málaga; Datos de las programaciones semafóricas; Aforos manuales; etc.

### 8.1.4 MODELIZACIÓN. SITUACIÓN ACTUAL TRÁFICO

La herramienta utilizada para la modelización es el modelo elaborado por Doymo en el año 2018 dentro del "Estudio de análisis de la movilidad de la ciudad de Málaga" creado con AIMSUN NEXT. Con los datos de aforos del Ayuntamiento de Málaga (de marzo de 2022), se ha realizado un trabajo de recalibración del modelo para

actualizarlo. Comparando datos reales de espiras en 500 secciones, se consiguió un R2, tanto para el escenario de mañana como el de mediodía del 0.939 y el GEH hasta el 82% de estaciones dentro de un rango correcto.



Resultados de la recalibración del modelo tras las correcciones iniciales (AM)

#### 8.1.5 RESULTADOS DE LAS MICRO MODELIZACIONES EN SITUACIÓN ACTUAL

En base a los resultados obtenidos, se considera que, en la situación actual, las horas punta, están correctamente representadas. Se puede concluir que, en base a los tiempos de demora, la longitud de cola y los tiempos de verde de las diferentes secciones, son suficientes para vaciar el tramo en un solo ciclo, evitando, en la mayor parte de los casos, que los vehículos deban realizar más de una parada para cruzar una determinada intersección.



Situación Actual (AM). Tiempos de demora

#### 8.1.6 DESCRIPCIÓN DE LA MOVILIDAD GENERADA POR LOS FUTUROS DESARROLLOS URBANÍSTICOS

La estimación de la movilidad generada por futuros desarrollos se ha extraído del documento realizado por la empresa Estudio 7. Los desarrollos urbanísticos que se han tenido en cuenta son los que tendrán una mayor

incidencia en el eje litoral, el cual es el objeto de estudio de este documento: **Zona Puerto** (Muelle 4 y Dique Levante); **Zona Litoral Este interior** (Colinas del Limonar, Wittemberg, La Platera); **Zona Litoral Oeste** (La térmica, Torre del Río, Residencial Tabacalera).

#### 8.1.7 SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE LOS ESCENARIOS DE DEMANDA DE FUTURO CON LA RED ACTUAL

##### Escenario tendencial

De no realizarse ninguna actuación, no solo a nivel infraestructural si no también en cuestiones como fomentar el uso de modos de transporte más sostenibles, el incremento de tráfico supondría un grave problema para la circulación en todo el frente litoral.



ESCENARIO 1: Situación Actual (AM) con demanda futura. Escenario Tendencial. Tiempo de demora

##### Escenario sostenible (-10% de reducción del tráfico)

A través de estos escenarios se puede concluir que la puesta en marcha de unas medidas que fomenten una movilidad más sostenible, llegando a reducir el uso del vehículo privado en un -10%, ayudaría a mantener la circulación como en la situación actual incluso con el crecimiento de nuevos desarrollos.



ESCENARIO 2: Situación Actual (AM) con demanda futura. Escenario Sostenible. Tiempo de demora

8.1.8 SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE LOS ESCENARIOS DE DEMANDA FUTURA TÚNEL

Escenario tendencial

Con la nueva infraestructura, aunque se produzca un aumento del tráfico, se estima que la circulación será fluida. Es posible que durante la hora punta de mediodía en algún cruce de la Av. Reading se produzca un aumento de los tiempos de demora y la longitud de colas, pero hay margen de mejora en los tiempos semafóricos. Incluso con la instalación de semáforos inteligentes en el cruce que se vayan auto regulado en base a las intensidades del tráfico se puede conseguir una circulación más fluida.



ESCENARIO 5: Situación Futuro (AM) con demanda futura. Escenario Tendencial. Tiempo de demora

Escenario sostenible (-10% de reducción del tráfico)

La infraestructura propuesta supone una mejora para la circulación y si esta se combina con acciones enfocadas a reducir el número de vehículos privados, se estima que la circulación será fluida y sin problemas de retenciones en ningún vial.



ESCENARIO 6: Situación Futuro (AM) con demanda futura. Escenario Sostenible. Tiempo de demora

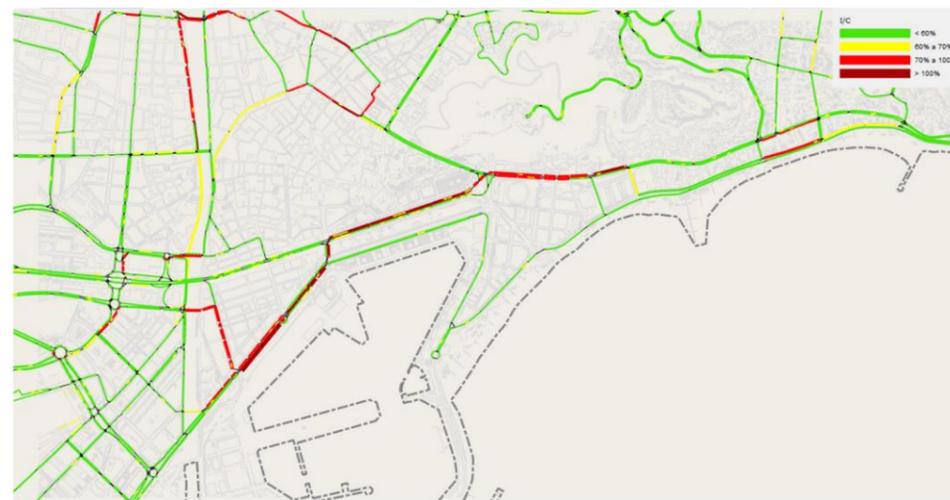
Por tanto, según los datos actuales de aforos y las estimaciones derivadas de las simulaciones, las intensidades en el túnel (tomando de referencia el tramo del Paseo de los Curas), serán de:

Hora punta	Sentido	Escenario				
		Actual	Tendencial	% Dif. con actual	Sostenible	% Dif. con actual
Mañana	Oeste	1.579	1.972	24,9%	1.683	6,6%
	Este	1.035	1.464	41,4%	1.108	7,1%
Tarde	Oeste	1.261	1.680	33,2%	1.358	7,7%
	Este	1.436	1.920	33,7%	1.560	8,6%

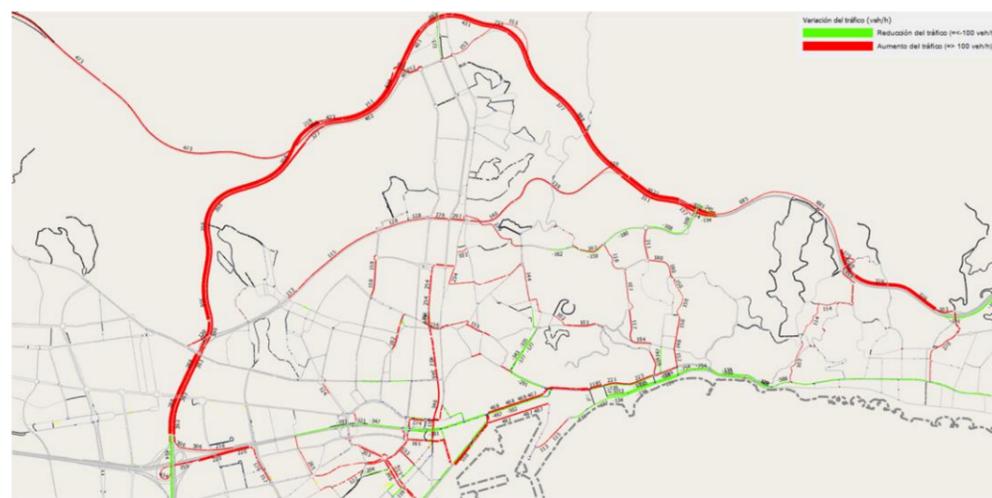
IMD					
Sentido	Escenario				
	Actual	Tendencial	% Dif. con actual	Sostenible	% Dif. con actual
Oeste	19.581	26.187	33,7%	21.461	9,6%
Este	19.799	27.470	38,7%	22.012	11,2%

### 8.1.9 SITUACIÓN DURANTE LAS OBRAS. RESULTADO MACRO MODELIZACIONES

El estudio de tráfico también analiza las fases de obra. Durante las fases de ejecución de las obras será necesario realizar diversos cortes en los viales bajo los que transcurrirá el túnel, lo que obligará a desviar el tráfico y las líneas de autobús que circulan por el ámbito de estudio. Para valorar los efectos de los desvíos propuestos por los cortes se han macro modelizado los estados de Fase 1 y 2 de obras durante las horas punta. Estos, además, se han comparado con los resultados del estado actual para ver que variaciones sufren los viales, tanto los afectados por la obra como los del entorno y los más alejados.



*I/C Fase 1 obras. Hora punta de mañana (AM)*



*Variación del tráfico Escenario Actual – Fase 1. Hora punta de mañana (AM)*

La modelización muestra cómo se desvían más de 1.000 vehículos/hora por otros itinerarios, mucho más largos que congestionaran otros ejes básicos de la ciudad. Al cortar la circulación en la calle Cánovas del Castillo, todo el tráfico que necesita realizar este recorrido se ve obligado a circular por el Paseo de Reading y Paseo del Parque provocando que estos viales registren unos niveles muy elevados.

Las modelizaciones realizadas muestran que durante las Fase 1 y 2 de las obras se van a producir problemas de circulación en el Paseo del Parque. El elevado aumento de tráfico en este recorrido supondrá un problema ya que el vial no dispone de capacidad suficiente para absorberlo.

Otros de los aspectos más problemáticos son la cantidad de líneas de autobús del transporte público urbano e interurbano que se van a ver afectadas, por la alteración de los recorridos y por las retenciones que se puedan producir por la sobrecapacidad de los viales. Aunque disponen de carriles propios no se descarta que se ven afectados.

### 8.1.10 CONCLUSIONES

El estudio de movilidad y simulación del anteproyecto concluye que todos los escenarios de diseño futuro previstos para el año 2035 presentan niveles de servicio inferiores a E en calzada e inferiores a C dentro del túnel lo que se considera que asegura la funcionalidad del conjunto de la movilidad, incluidas las entradas y salidas de la estación de autobuses y los diferentes accesos subterráneos a los aparcamientos.

## 9. INSTALACIONES DE TÚNEL

A modo de resumen, los diferentes grupos de instalaciones de los que dispondrá el túnel objeto del proyecto serán los siguientes:

- Instalaciones eléctricas
- Sistema de Alumbrado
- Sistema de Ventilación.
- Sistema de protección contra de incendios.
- Instalaciones para la gestión del tráfico.
- Circuito cerrado de televisión (CCTV) y detector automático de incidentes (DAI).
- Comunicaciones con los usuarios (postes SOS, megafonía, radiocomunicaciones).
- Sistema de Control y comunicaciones de datos.
- Centro de Control.

## 9.1 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

### 9.1.1 DISTRIBUCIÓN EN ALTA TENSIÓN

Para el suministro de Energía Eléctrica a los servicios previstos en los túneles objeto del proyecto y sus accesos, se proyecta la instalación de un centro de entrega de energía en media tensión situado bajo rasante en la esquina sureste de la Plaza de la Marina con el Paseo de los Curas. Este centro de entrega dispondrá de acceso vehicular 24 h desde el propio túnel soterrado y la medición de energía se realizará en media tensión. El suministro primario de energía eléctrica al centro de entrega será efectuado por la compañía ENDESA.

Desde el punto de entrega de energía eléctrica se alimentará en MT en configuración en anillo a los 3 centros de transformación previstos, situados en las proximidades de los pozos de ventilación, por ser estos los principales consumidores de potencia eléctrica. El centro de transformación de mayor potencia estará situado en la zona de salas técnicas soterradas situado en la esquina del Paseo de los Curas con Plaza de la Marina, desde el cual se alimentará el pozo de ventilación sanitaria situado bajo la plaza Poeta Alfonso Canales, así como los receptores situados en el tercio más occidental. Un segundo CT estará ubicado a la altura del Paseo de la Farola, donde se prevé la instalación de un pozo de extracción masiva de humo en caso de incendio. El tercer centro de transformación se prevé instalar a la altura del paseo marítimo Ciudad de Melilla, desde el cual se alimentará un segundo pozo de ventilación sanitaria próximo, así como otros receptores del tramo oriental del túnel.

Cada uno de los CT previstos dispondrá de grupo electrógeno para respaldo de la ventilación y otros servicios necesarios. Los distintos centros de transformación del túnel del Eje Litoral dispondrán de un grupo de celdas de M.T., conjunto de transformadores y cuadro de B.T., separados físicamente.

Estos 3 centros de transformación, que alimentarán los cuadros de baja tensión, desde los cuales se alimentan los receptores situados en su área de afección, se representan en el plano **05.1.2**.

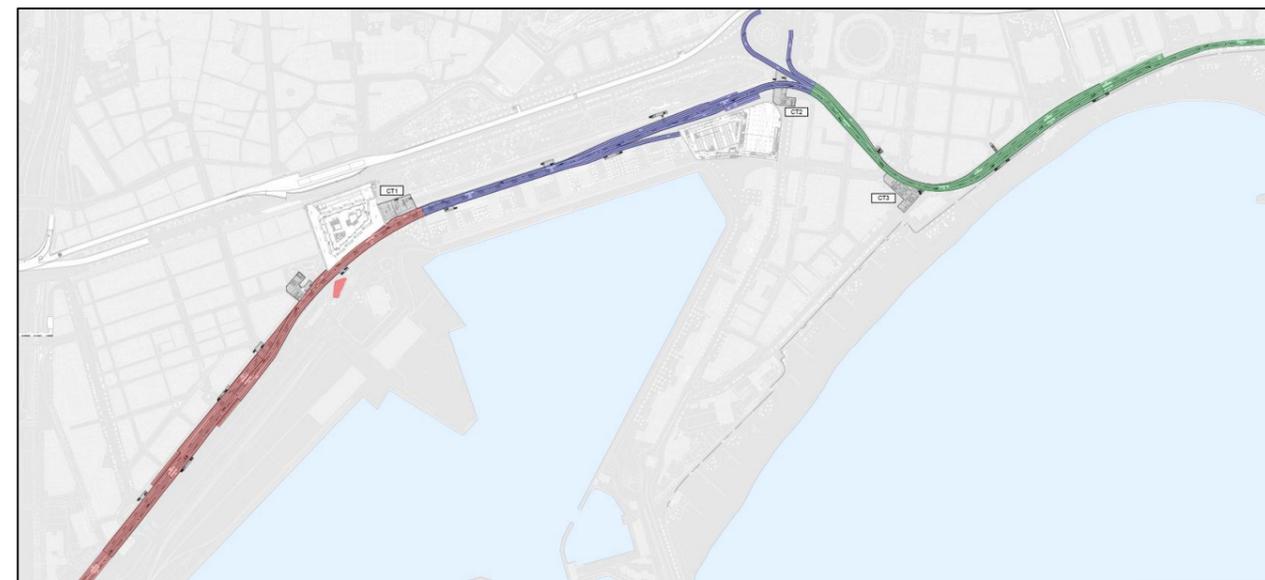


Figura 1 Zona de afección de los 3 centros de transformación previstas

El objetivo de esta red en anillo es garantizar la continuidad del servicio ante un fallo o avería. El funcionamiento en estado normal sería: el Centro de Entrega 1 alimenta a CT1 y el Centro de Entrega 2 alimenta a CT2 y CT3.

Los elementos que componen la instalación eléctrica irán distribuidos en diferentes locales junto al propio CT, siendo los siguientes:

- Sala de Media Tensión (celdas de protección y maniobra).
- Sala de transformadores (acceso restringido, sistemas de extinción de incendio dedicados).
- Sala de grupo electrógeno.
- Sala de Cuadro General de Baja Tensión (CGBT).

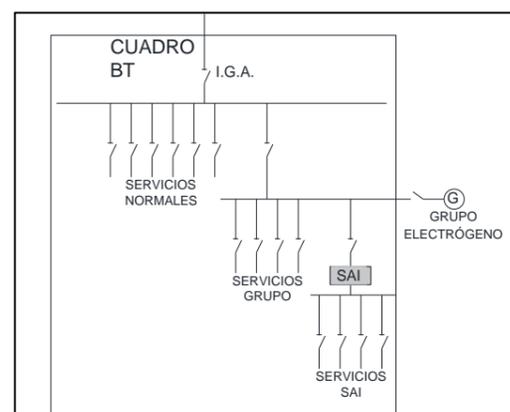
### 9.1.2 DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN

El sistema comprende, para cada centro de transformación del que se alimenta: la acometida de BT, el cuadro general, las líneas de distribución, los cuadros secundarios de mando y control, canalizaciones, redes de tierra, red equipotencial y consumidores eléctricos.

Los cuadros generales de baja tensión, uno por cada CT y situado en sus proximidades, se encargan de la distribución de la energía eléctrica hacia los cuadros secundarios y a los receptores que se encuentren conectados directamente en este cuadro. Esta alimentación se realiza por las líneas de alimentación que se conectan al mismo.

Para prevenir un eventual fallo en las alimentaciones de Media Tensión, se instalarán grupos electrógenos asociados a cada uno de los Centros de Transformación del túnel, que podrán alimentar a los denominados “circuitos críticos”, asegurando para ellos unas condiciones adecuadas de seguridad y continuidad de suministro.

Se prevé, por tanto, la instalación de 3 grupos electrógenos de distinta potencia, cada uno de ellos en sala exclusiva y junto al CT y CGBT asociado.



Para eliminar todos los problemas de la red eléctrica y para asegurar un servicio continuo y de calidad, se prevé la instalación de sendos SAI con de tecnología on-line (sin microcorte) con una autonomía mínima de 1 hora, con capacidad suficiente para alimentar a los servicios esenciales en los que la interrupción del suministro no es tolerable.

## 9.2 ALUMBRADO

La solución de alumbrado que se prevé instalar se proyecta de acuerdo con la normativa vigente, de manera que se adoptarán los siguientes criterios:

- RD 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras.
- Para el alumbrado de interior de túneles, CIE 88:2004, guía para el alumbrado de túneles de carretera y pasos inferiores..
- Deberá respetarse también el RD 1890/2008, especialmente su Instrucción Técnica Complementaria EA-02.

La instalación de alumbrado del túnel contempla los siguientes sistemas. Conforme al Real decreto 635/2006 cada uno de estos sistemas cumplirá la siguiente función:

- La **iluminación normal** se proporcionará de modo que asegure 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.
- La **iluminación de seguridad** se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos. El alumbrado de seguridad se corresponderá con la instalación de alumbrado permanente de un solo hastial, mientras que los circuitos de alimentación eléctrica del alumbrado de seguridad estarán colgados de SAI y alimentados con conductores resistentes al fuego.
- La **iluminación de emergencia** estará a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse para que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie por las aceras laterales.
- La **iluminación de guiado** se propone con el fin de hacer más visible a todos los usuarios del túnel la posición de las salidas de emergencia, así como contribuir a visualizar el perímetro lateral del túnel. El alumbrado de guiado se obtendrá con las mismas luminarias destinadas al alumbrado de emergencia, pero reguladas a un nivel lumínico inferior, aproximadamente al 10 % del necesario para su funcionamiento en modo alumbrado de emergencia.

Para todos los sistemas de iluminación se utilizará tecnología de luminarias LED.

### 9.2.1 CRITERIOS DE DISEÑO Y RESULTADO DEL CÁLCULO DEL ALUMBRADO

Como parámetros de diseño para el cálculo lumínico, se han tomado los siguientes:

Velocidad de circulación = 50 km/h

Ds= 60m

Lth= 150 cd/m<sup>2</sup>

Lint= 3 cd/m<sup>2</sup>

Se han aplicado los parámetros de diseño anteriores y se han realizado 3 cálculos del sistema de iluminación para cada una de las secciones del túnel, es decir, 1 carril, 2 carriles o 3 carriles.

Resultado de los cálculos realizados, se obtiene el siguiente listado de luminarias, en este caso del fabricante “Carandini”:

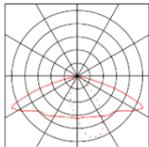
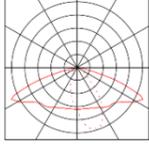
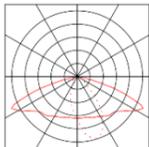
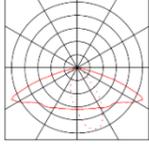
C.&G. CARANDINI S.A.U. S.A.U.	
<p><b>Figura 2</b></p> <p>Nº de artículo : TMX.3.L.CC.053.4.052J.L1L5 Nombre de la lum. : T-max Tunnel luminaire Equipamiento : 1 x C.LED 53000LM - 4000K 408 W / 52846 lm Factor de mant. : 0.80</p> 	<p>Nº de artículo : TMX.3.S.CC.012.4.014G.L1L5 Nombre de la lum. : T-max Tunnel luminaire Equipamiento : 1 x C.LED 12000LM - 4000K 85 W / 11935 lm Factor de mant. : 0.80</p> 
<p>Nº de artículo : TMX.3.M.CC.026.4.026J.L1L5 Nombre de la lum. : T-max Tunnel luminaire Equipamiento : 1 x C.LED 26000LM - 4000K 204 W / 26423 lm Factor de mant. : 0.80</p> 	<p>Nº de artículo : TMX.3.S.CC.006.4.006J.L1L5 Nombre de la lum. : T-max Tunnel luminaire Equipamiento : 1 x C.LED 6000LM - 4000K 48 W / 6491 lm Factor de mant. : 0.80</p> 

Figura 2 Listado de luminarias alumbrado

La implantación de luminarias en planta se recoge en los planos **05.2.1.\_Alumbrado\_Túnel\_Superior** y **05.2.2.\_Alumbrado\_Túnel\_Inferior**.

### 9.2.2 ALUMBRADO DE EMERGENCIA

En la iluminación de emergencia se prevé la utilización de luminarias led con iluminancias superiores a 10 lux en vías de hasta 2 metros de anchura, las cuales, admiten opciones de regulación y telemando desde el centro de control.

Además, el alumbrado de emergencia se podrá emplear como alumbrado de guiado a través de la regulación de este para una luminosidad menor, de forma que esta iluminación esté instalada de forma continua a lo largo de todo el recorrido del túnel y actúe como alumbrado de emergencia en caso de evacuación.

Cada luminaria, compuesta de módulos de 2m, irá adosada en pared hasta una altura máxima de 1,50 m, permitiendo cubrir hasta 50 metros lineales, proporcionando a lo largo del recorrido uniformidad y un alto rendimiento en las vías de evacuación. Así mismo, este sistema de alumbrado dispone de hasta 120 minutos de autonomía al mismo flujo lumínico que conectado a red.

### 9.2.3 CONTROL DE ALUMBRADO

La necesidad de mayor o menor nivel de iluminación en la boca de un túnel varía a lo largo del día en función de las condiciones de luz exterior. Para poder realizar una adaptación precisa de la iluminación del túnel en función de esta circunstancia, se prevén los siguientes niveles básicos de iluminación: Nivel 1 (Soleado), Nivel 2 (Nublado), Nivel 3 (Crepuscular), Nivel 4 (Nocturno o permanente, conseguido mediante la regulación de las luminarias LED).

## 9.3 VENTILACIÓN

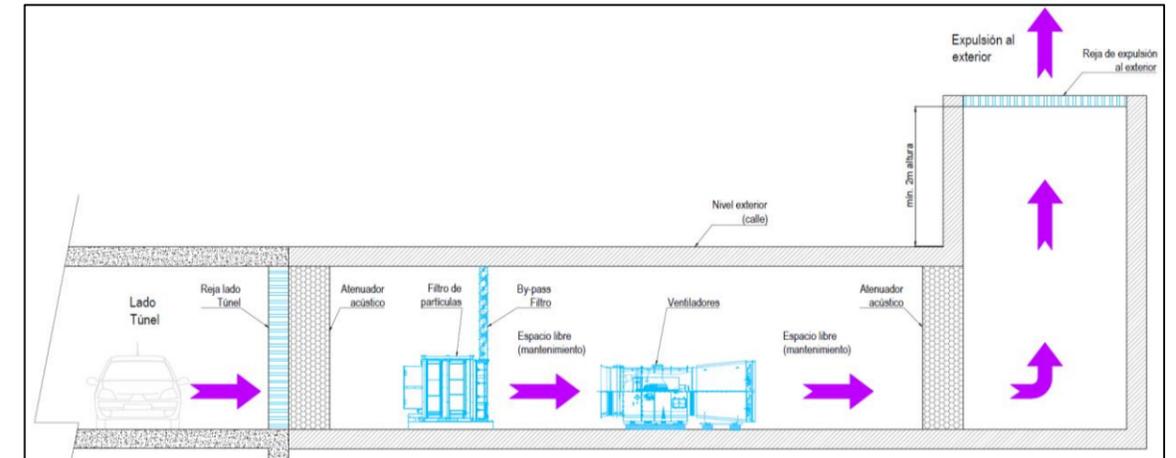
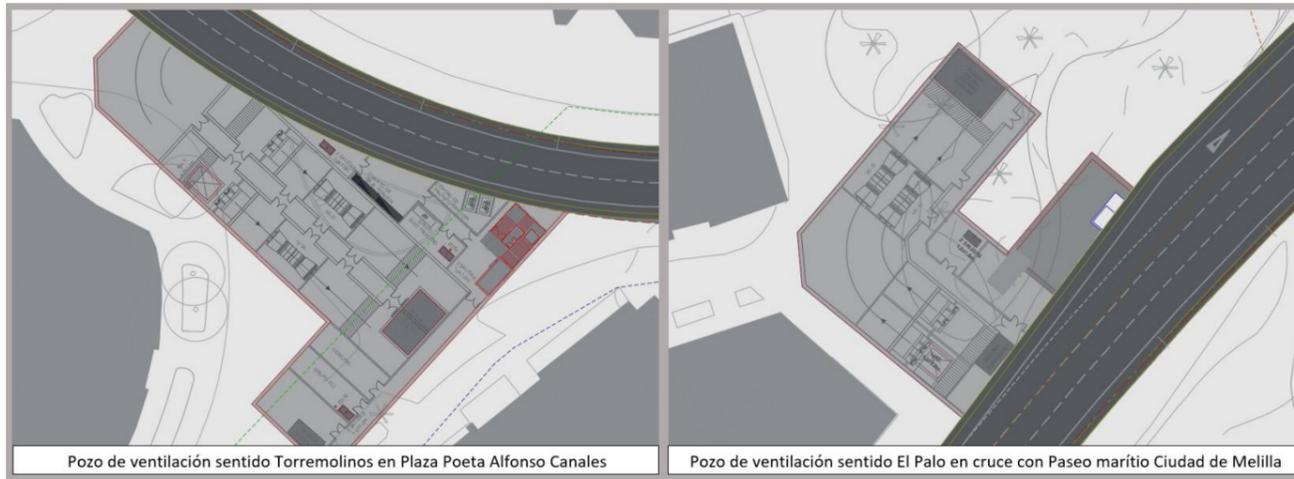
### 9.3.1 VENTILACIÓN INTERIOR DEL TÚNEL

Para el túnel objeto de este anteproyecto se plantea un sistema de ventilación que combina a su vez varios tipos de ventilación, longitudinal y semi-transversal. Se describen a continuación los sistemas de ventilación que se prevén implementar a lo largo de todo el tramo:

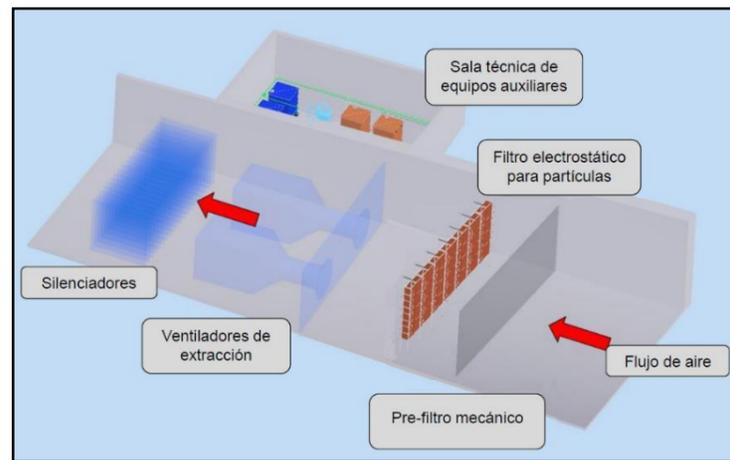
- **Ventiladores de chorro (JET FANS).** Se utilizarán tanto para ventilación sanitaria como de incendio. Impulsarán el aire del interior del túnel hacia las bocas de salida. En un cálculo preliminar se estiman 47 jet fans de 30kW sumando ambas calzadas y las rampas de acceso y salida.

TIPO	VELOCIDAD CHORRO (m/s)	EMPUJE NOMINAL (N)	POTENCIA (kW)	DIÁMETRO EXTERIOR (m)
JET REVERSIBLE	≈ 29	≈ 1100	30	1.4

- **Pozos de ventilación sanitaria,** dotados de ventiladores de extracción y equipados con filtrado de partículas. Este sistema se diseña exclusivamente para la ventilación sanitaria del túnel, es decir, para filtrar los contaminantes del aire que se acumulan en el interior del túnel debido a la circulación normal de vehículos, previamente a su evacuación al exterior. Según los cálculos y simulaciones realizadas de forma preliminar, el aire de extracción desde el túnel al exterior debe tener un tratamiento de filtrado de partículas, estando el volumen de emisiones de gases por debajo del límite marcado por la normativa. Se prevé dotar de un pozo de ventilación por sentido en el último tercio de la longitud total del túnel en el sentido del tráfico.

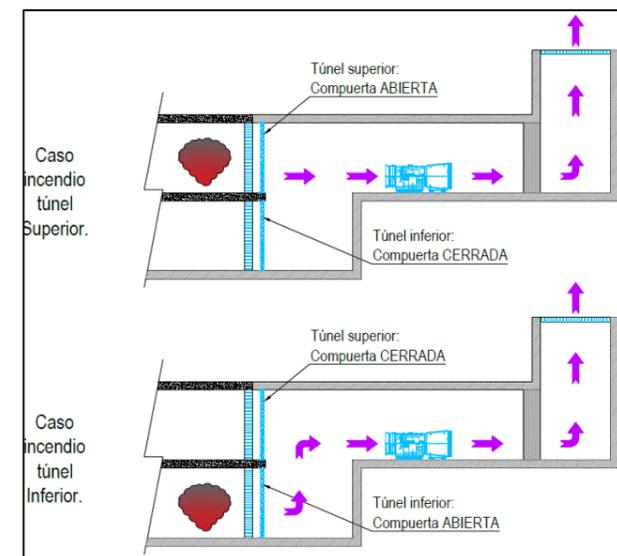


Constructivamente, los pozos de ventilación sanitaria dispondrán de las siguientes etapas:



Se estima la dotación de dos estaciones de ventilación sanitaria, equipada cada una con 2 ventiladores axiales de gran diámetro capaces de proporcionar unitariamente un caudal de 125m<sup>3</sup>/s y 750 Pa de presión estática.

- **Pozos de extracción masiva de humos.** Se prevé la dotación de un pozo de ventilación para su uso en caso de incendio en el nudo de Paseo de los Curas con Plaza del General Torrijos, por su especial riesgo (retenciones de vehículos o ineficiencia del sistema longitudinal puro basado en jets). El pozo se conectará cenitalmente a ambas calzadas y mediante un sistema de compuertas extraerá caudal de humos de uno u otro tubo. Se trata, por tanto, de un complemento para mejorar el comportamiento del sistema de ventilación longitudinal en caso de incendio.



Se estima la dotación de dos estaciones de ventilación de incendio, equipada cada una con 2 ventiladores axiales de gran diámetro capaces de proporcionar unitariamente un caudal de 125m<sup>3</sup>/s y 650 Pa de presión estática.

### 9.3.2 VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN DE LOCALES TÉCNICOS

Se implementará un sistema de ventilación forzada en centros de transformación y cuartos de Media Tensión para mantener la temperatura dentro de límites aceptables. Asimismo, se utilizará un sistema de climatización en cuartos de baja tensión, variadores y control/comunicaciones para evitar que la temperatura exceda niveles críticos que puedan afectar el funcionamiento de los equipos.

## 9.4 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

A partir de los requerimientos básicos previstos por el RD 635/2006, se concluye que hay algunas necesidades de seguridad que no están suficientemente atendidas con los requerimientos del decreto, existiendo oportunidades de mejora de la seguridad. Considerando las especiales características del soterramiento del eje litoral, se exponen a continuación los distintos sistemas previstos en la lucha contra incendios en cada uno de los tubos del túnel.

En todo caso, debido a la particularidad de la infraestructura propuesta en este anteproyecto, el conjunto de instalaciones contra incendio que finalmente se instalen deberá ser consensuada con los responsables del R.C.B. de Málaga.

### 9.4.1 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS

Respecto al sistema de detección de incendios, para el tubo de circulación de vehículos se proyecta la utilización combinada de varios sistemas de detección:

- Sistema de detección lineal de incendios (fibroláser). Sistemas basados en la distorsión que produce la elevación de temperatura sobre la transmisión de un rayo láser a través de un cable de fibra óptica. La localización del punto en el que se produce la elevación de la temperatura que hace, en este caso, comparando la señal normalmente enviada por el láser con la que se recibe deformada por la temperatura.
- Detección Automática de Incidentes (DAI): entre las alarmas configurables cuenta con la detección de incendio, a través del humo generado, si bien hay otras alarmas que suelen anticipar este hecho como la detección de un vehículo circulando a velocidad anormalmente baja o detenido, así como la presencia de peatones en calzada.
- Detectores de gases (CO, NO<sub>2</sub>) y opacidad. También se utilizarán para el control de la ventilación.

### 9.4.2 SISTEMA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

#### BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS

Se prevé la instalación de bocas de incendio equipadas, de 25 mm y manguera semirígida cada 50 metros. Además, se prevé que cada BIE disponga de una toma adicional de 45 mm, la cual estará equipada con válvula, racor y tapón para uso normal.

#### HIDRANTES

Se agregarán hidrantes cerca de las salidas de emergencia del túnel para facilitar la extinción de incendios, junto a la red exterior existente. Aunque el RD 635/2006 no se aplica estrictamente a túneles urbanos, se propone instalar hidrantes exteriores junto a cada salida de emergencia. Se podrá llevar agua al interior de los tubos haciendo uso de la instalación de columna seca.

#### EXTINTORES

Se prevé la instalación de puestos de S.O.S. (postes SOS) que incluyen un recinto para la colocación de dos extintores de polvo polivalente de 6 kg, de alta eficacia 34 A- 233 B – C, según exige la normativa.

Adicionalmente, situado junto a cada BIE, se proyecta la instalación de extintores de polvo polivalente de las mismas características. Esto significa que se dispondrá de, al menos, un extintor cada 50 m.

En cada armario de poste SOS y en cada salida de emergencia se proyecta la instalación de un pulsador de alarma de incendios.

#### COLUMNA SECA

Se instalará un sistema de columna seca con tomas de agua cerca de las bocas del túnel y salidas de emergencia, de uso exclusivo para bomberos. Las tomas exteriores tendrán válvula anti-retorno, conexión siamesa, llaves y racores de 70 mm. En el interior del túnel, habrá salidas de columna seca junto a las salidas de emergencia y cada 50 m, con conexión siamesa, llaves y racores de 45 mm.

## SEÑALIZACIÓN DE LOS EQUIPOS CONTRA INCENDIOS.

En el interior del túnel y mediante rótulos luminosos, se señalarán: los postes SOS, los extintores, los pulsadores de alarma y las BIEs.

Mediante señalización fotoluminiscente se señalará las tomas de columna seca y la presencia de extintores y postes SOS así como la distancia a los más cercanos en ambos sentidos. En el interior de cada salida de emergencia se señalarán los pulsadores de alarma.

## SEÑALIZACIÓN DE EVACUACIÓN

Cada salida de emergencia se señalará mediante rótulos luminosos no autónomos descolgados desde SAI y los recorridos de evacuación mediante señal fotoluminiscente a lo largo del túnel, indicando la distancia a cada boca.

La señalización del camino hacia cada salida de emergencia se realizará con tiras electroluminiscentes a ambos lados de la puerta de acceso. Se colocará una señal fotoluminiscente sobre cada hoja de las puertas resistentes al Fuego, que indique el método de apertura de la barra antipánico.

## 9.5 INSTALACIONES PARA LA GESTIÓN DEL TRÁFICO

El sistema de gestión viaria abarca un conjunto de instalaciones específicas, cuyos objetivos son informar adecuadamente a los usuarios que circulan por la vía de los aspectos necesarios para garantizar la máxima seguridad en la circulación, conocer en todo momento el estado del tráfico, informar de situaciones de riesgo o emergencia, así como dar instrucciones sobre las acciones a llevar a cabo.

### 9.5.1 SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN DINÁMICA

La siguiente tabla muestra los criterios de diseño de cada instalación para el túnel del eje litoral:

SISTEMA	EQUIPAMIENTO
Señalización Dinámica Exterior, en los accesos a las bocas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sección de señales aspa-flecha en el dintel de boca de entrada</li> <li>Barrera con semáforo doble rojo y alarma</li> <li>Sección de semáforos rojo-ámbar-verde anterior a las barreras</li> <li>Sistema de control de gálibo</li> <li>Paneles de mensajería variable en accesos</li> </ul>

SISTEMA	EQUIPAMIENTO
Señalización Dinámica Interior	<ul style="list-style-type: none"> <li>Semáforos interiores cada 100 m</li> <li>Sección de señales aspa-flecha cada 400 m</li> <li>Señales de limitación de velocidad cada 400 m</li> <li>Paneles de mensajería variable cada 1000 m</li> </ul>

## 9.6 SISTEMA DE VÍDEO EN CIRCUITO CERRADO Y DAI

El CCTV permite que el conjunto de operadores consiga por inspección visual una información adicional en tiempo real que mejore la explotación del túnel. Así mismo, el CCTV se utiliza para confirmar el riesgo detectado y calibrar la magnitud del incidente, además de ayudar al diseño de la respuesta y de realizar un análisis posterior a partir de las situaciones registradas.

Para el caso del eje litoral soterrado en la ciudad de Málaga se tiene previsto la instalación de cámaras HD fijas en el interior del túnel. En el exterior de los túneles se instalarán cámaras DOMO en cada una de las bocas. Con ellas se pretende vigilar posibles retenciones o cualquier tipo de incidente que se produzca en estas zonas. Para mejorar la visibilidad se instalarán sobre báculos de unos 15 metros de altura.

Además de las cámaras para control de tráfico, se controlarán por CCTV cada salida de emergencia y accesos a salas técnicas.

### 9.6.1 SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES (DAI)

Para el túnel del eje litoral, se propone la instalación que contará con un sistema de CCTV y un sistema de detección automática de incidentes (DAI) en tiempo real. Su fuente serán las imágenes en banda base recibidas de las cámaras fijas situadas en su interior.

El sistema debe poder reconocer incidentes para no dar múltiples alarmas producidas por el mismo incidente.

Detectará los siguientes incidentes:

- Alarmas principales:
  - o Parada de vehículo con tráfico fluido o con congestión, ya sea en la calzada o en el arcén.
  - o Detección de varios niveles de colas.
  - o Vehículo circulando en contrasentido en calzada o arcén.
  - o Vehículo con velocidad baja.

- Otras alarmas:
  - o Presencia de viandantes, ya sea en la calzada o en el arcén.
  - o Presencia de obstáculos en la calzada.
  - o Pérdida de visibilidad/detección de humo.

Complementariamente a la detección de incidentes, el sistema DAI proporcionara información adicional relativa al tráfico:

- Datos de flujo de tráfico por carril.
- Datos integrados del tráfico de vehículos.
- Datos del tráfico de vehículos individuales.

## 9.7 COMUNICACIONES CON LOS USUARIOS

### 9.7.1 POSTES SOS

Cumpliendo con las recomendaciones que establece el Real Decreto, se proyecta la instalación de un sistema de postes SOS, ubicados en el interior del túnel, cada 200 metros.

La red de Postes SOS proyectada estará basada en tecnología IP sobre fibra óptica. Las comunicaciones serán mediante VoIP (protocolo SIP). En el Centro de Control se recibirán las llamadas y serán atendidas por operadores.

### 9.7.2 MEGAFONÍA

El túnel se dividirá en zonas de megafonía independientes y diferenciadas. Cada zona responderá a un control de audio de llamada y un volumen totalmente independiente, que permitirá adaptar el sonido a las particularidades acústicas de los altavoces y del recinto donde van instalados, obteniendo de este modo una sonorización óptima para cada área.

La solución propuesta es un diseño distribuido basado en tecnología IP que facilitará la gestión y control de todo el sistema desde diferentes puntos de la red.

### 9.7.3 MENSAJERÍA DE EMERGENCIA POR CANALES DE RADIO FM

El sistema de mensajería de emergencia es un sistema de radiofrecuencia unidireccional en Frecuencia Modulada (FM) para dar avisos de emergencia en el interior del túnel a través de los receptores de radio FM del interior de los vehículos que circulan por el túnel.

Mientras esté sintonizada una frecuencia FM en el vehículo que corresponda a un canal de las portadoras amplificadas, al entrar en el túnel y en caso de emergencia, los ocupantes notaran la interrupción de la emisión actual para pasar a escuchar el mensaje de emergencia, que dará indicaciones de las acciones a realizar. La interrupción del servicio de radio comercial FM se realiza mediante un dispositivo denominado "Break in Voice".

### 9.7.4 SISTEMA DE RADICOMUNICACIONES PARA SERVICIOS DE EMERGENCIA (TETRA).

El sistema TETRA permite las comunicaciones radio en su interior (comunicación desde interior a interior del túnel, comunicación exterior-interior y viceversa), a los terminales móviles pertenecientes a los servicios de comunicación incorporados, mediante la difusión en el interior del túnel de cuatro portadoras TETRAPOL del sistema SIRDEE, perteneciente al Ministerio del Interior, en la banda UHF (380-395) MHz.

La unidad amplificadora de señales TETRAPOL está compuesta por un amplificador digital de banda que le permite amplificar todas las portadoras TETRAPOL presentes en la banda. Este tipo de amplificadores presentan la desventaja de su menor ganancia por cuestiones de linealidad, relacionada con las normas ETSI, si bien permiten amplificar cuantas señales estén presentes en la sub-banda. Esto permite despreocuparse de futuras re-sintonizaciones. En cuanto a la menor ganancia presente, en este proyecto no representa ningún problema, dado que el túnel está en zona urbana y los niveles de señal captados son excelentes (mejores que- 60dBm/portadora).

Se tiene previsto, en todo caso, realizar la configuración del sistema TETRA para asegurar la transmisión de los cuerpos de emergencia de la zona, tanto al cuerpo de bomberos, fuerzas y cuerpos de seguridad de estado y policía local.

## 9.8 CONTROL DE DATOS Y CENTRO DE CONTROL.

En el túnel del Eje Litoral se implantará un Sistema de Gestión Centralizada cuya gestión se controlará desde el centro de control del túnel. Se tiene previsto integrar el centro de control del mismo en el centro municipal de gestión de tráfico, situado en uno de los módulos de la antigua fábrica de Tabacalera.

El sistema de gestión centralizada se diseñará con dos objetivos fundamentales:

- Proporcionar un sistema que permita el control remoto desde el Centro de Control de todas las instalaciones del túnel.
- Implantar un sistema robusto, que garantice un funcionamiento correcto de todo el conjunto incluso en situaciones degradadas o con presencia de fallos.

Permitirá la realización de las siguientes funciones desde los puestos de operación del Centro de Control:

- Adquisición de datos de las instalaciones del túnel, para su monitorización y supervisión en tiempo real.
- Recepción de alarmas generadas por los equipos de campo, por incidentes, superación de niveles o errores de funcionamiento.
- Envío de órdenes de actuación: arranque de ventiladores, cambio de estado de la señalización luminosa o del alumbrado, etc.
- Definición y activación de procedimientos automáticos o semiautomáticos: cierre del túnel, procedimiento de actuación por presencia de incendio, etc.

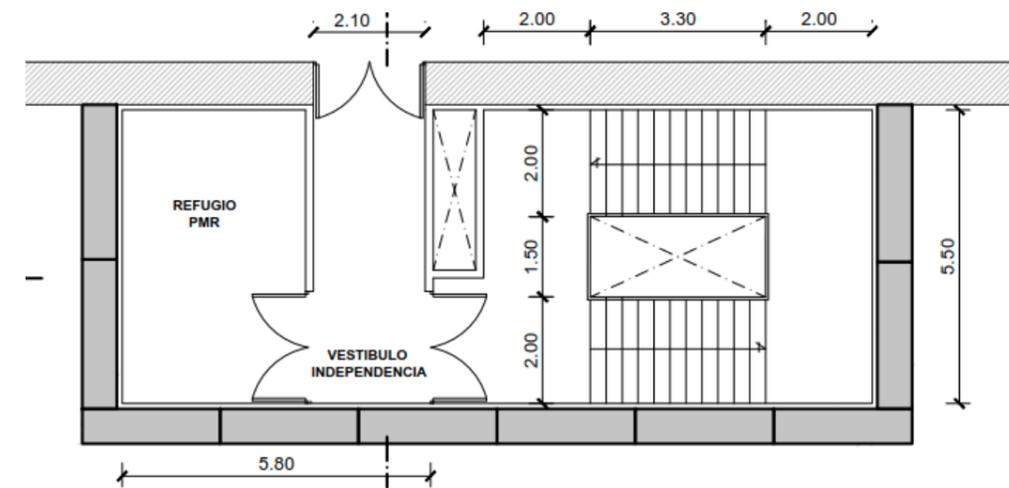
Para proporcionar este conjunto de funcionalidades, el nuevo Sistema de Gestión Centralizada integrará el control y monitorización de los siguientes sistemas: Sistema de Ventilación, de Iluminación, Suministro de Energía, Sistema de Extinción de Incendios y Red de BIEs del túnel, Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control de Túneles (Señalización Luminosa, Sistema de Megafonía, Sistema de Radiocomunicaciones, Sistema de Postes SOS, Sistema de Control de Ventilación, Circuito Cerrado de Televisión, Sistema de Detección Automática de Incidentes, Sensores de Variables Atmosféricas en Carreteras (SEVAC), Sistema de Control de Gálibo, Sistema de Aforo de Tráfico), Sistema de Control de Centros de Transformación, Red de Comunicaciones y Sistema de Detección de Incendios en Túneles.

## 10. ACCESIBILIDAD Y OPERATIVA DE EMERGENCIA

Para la evacuación de los usuarios se proyectan salidas de evacuación directas al exterior ubicadas en el lado derecho del túnel en el sentido del tráfico en el túnel en los dos tramos extremos con las calzadas al mismo nivel (1N): entre la boca este y el PK 0+550, y entre el PK 1+880 y la boca oeste, y de un segundo tramo central con las calzadas superpuestas (2N), desde el PK 0+550 hasta el PK 1+880. En el tramo central con las calzadas superpuestas (2N), desde el PK 0+550 hasta el PK 1+880 las salidas se sitúan sólo en un único lado del túnel, debiéndose evacuar un tubo por el lado izquierdo. En este tramo ambas aceras laterales del túnel tienen una anchura mínima de 0,80m.

Estas salidas estarán distanciadas a menos de 200 m entre ellas y se construirán con pantallas.

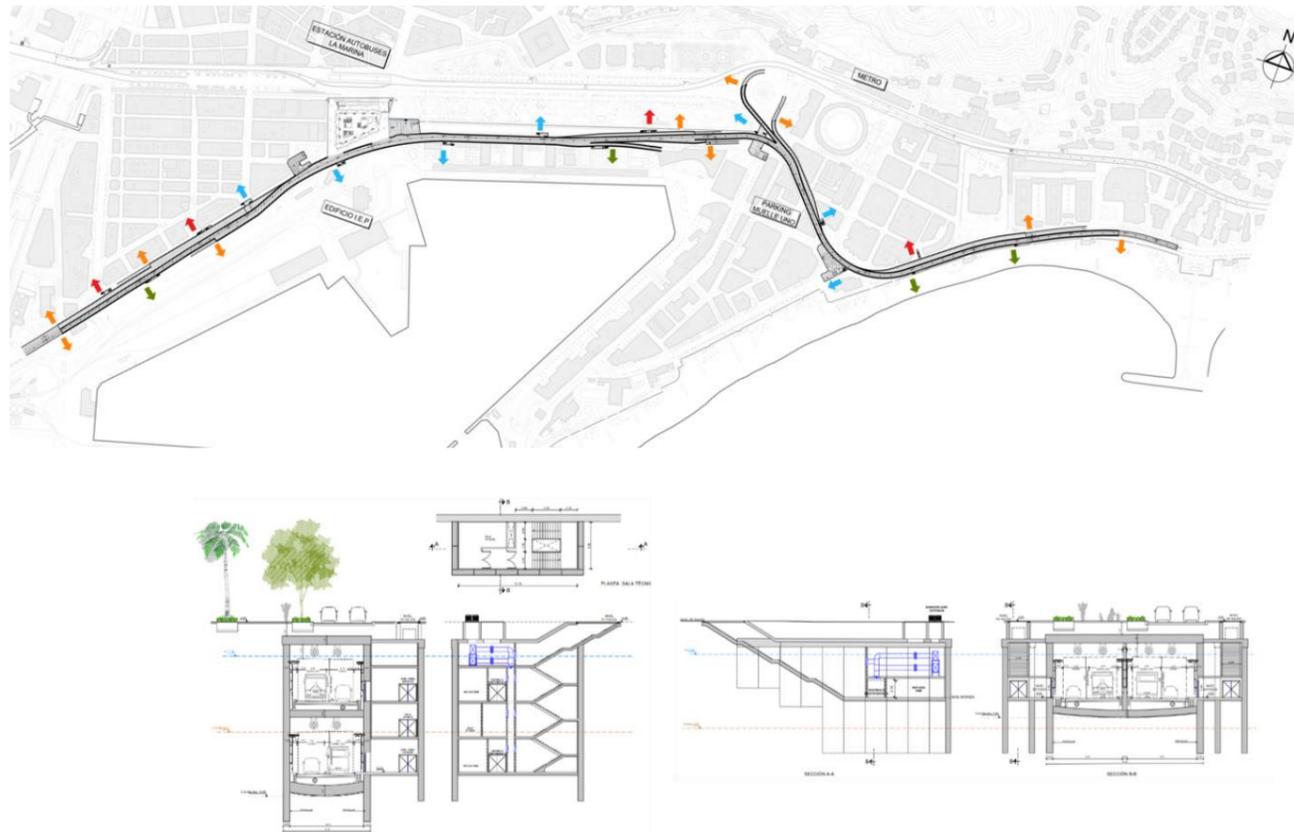
El acceso a la salida de emergencia se realiza con dos puertas EI-60 que se abren hacia el sentido de la evacuación. Estas puertas son antipánico, de 1 metro de anchura cada una produciendo una apertura de 2 m y una altura de 2,2m. En cumplimiento con lo dispuesto en el Código Técnico de la Edificación se proyectan tramos de escalera de 12 peldaños, de 2 m de anchura y rellanos de 2 m. La salida al exterior se hace por medio de una trampilla de 2 m de ancho por 5,5 de longitud. Los tramos de escaleras están separados por un hueco libre de paso de 1,5 m x 3,30 m para evacuación de literas. Se dispondrán vestíbulos de independencia entre el túnel y la escalera de evacuación de un mínimo de 5m<sup>2</sup>.



Planta general de la escalera de evacuación tipo

Tanto el recorrido de evacuación como el vestíbulo de independencia están sobrepresionados para evitar la entrada de humos en su interior en caso de incendio en el túnel.

Encontramos dos tipologías de salidas de emergencia según su proyección en planta.



Esquema de accesibilidad y operativa de emergencia; salidas en tramos de 1 nivel y 2 niveles

## 11. SOSTENIBILIDAD

El soterramiento del eje litoral se debe desarrollar, dentro de la estrategia de sostenibilidad, de acuerdo a los siguientes documentos de referencia:

- Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): 6, 7, 11 y 13
- Green Deal (UE)
- Agenda Urbana de España
- Agenda Urbana de Málaga
- Plan del Clima
- Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS)
- Eficiencia energética y digitalización

En base a estas referencias, se han fijado unos objetivos para la propuesta:

- Fomentar el uso del transporte público, colectivo y de alta ocupación mediante carriles exclusivos BUS-VAO.
- Implementar medidas para regular y limitar el acceso de vehículos que emiten contaminantes.
- Obtener espacios públicos de proximidad utilizando espacios recuperados restringiendo el paso de vehículos privados en superficie → eliminación de condicionantes en superficie en Cánovas - Paseo de los Curas – Torrijos – Marina.
- Espacio Público: Aumentar las zonas verdes, parques y jardines → 1,5m de tierras sobre el túnel para plantación, trasplante especies, eliminar condicionantes de urbanización
- Transformación de la movilidad Urbana: reducción de los desplazamientos en vehículo privado por la ciudad
- Intermodalidad → conexión subterránea con intercambiador de La Marina y con aparcamientos
- Paseo de los Curas: itinerario peatonal horizonte 2026-2030 → sin condicionantes
- Aplicaciones innovadoras en Eje Litoral soterrado → reducción emisiones, balance energético nulo (generación vs consumo), sistemas ITS, criterios de economías circular

Este proyecto tiene la oportunidad de convertirse en un referente a nivel internacional en cuanto a abordar la infraestructura con una estrategia circular y de huella de carbono:



Ejemplo de estrategia basada en la circularidad en soterramiento de la A5

Dentro de esta estrategia, se ha desarrollado en este anteproyecto un anejo específico referente a la eficiencia energética.

## 12. EFICIENCIA ENERGÉTICA

En el marco de la actuación del soterramiento del Eje Litoral, es voluntad del Ayuntamiento de Málaga evaluar la viabilidad técnico-económica de incorporar sistemas de generación de energía con fuente renovable. El *Estudio de Eficiencia Energética*, incluido en el Anejo N°22, da respuesta a este requerimiento.

El reto que se plantea es buscar la sostenibilidad energética de la infraestructura de forma global, implementando soluciones para la optimización de los recursos energéticos de la infraestructura proyectada. Para alcanzar la sostenibilidad energética, el objetivo es lograr que el balance energético de la infraestructura en fase de explotación sea 0, lo que supone que el consumo energético anual asociado a la infraestructura se pueda compensar, en su totalidad, por la energía generada anualmente gracias al aprovechamiento de fuentes de energía renovable que se podrían instalar en el espacio proporcionado por la nueva infraestructura.

### 12.1.1 ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DE LA INFRAESTRUCTURA

El punto de partida del análisis es establecer el requerimiento energético total de la infraestructura proyectada, considerando contabilizar el consumo de los diferentes equipos.

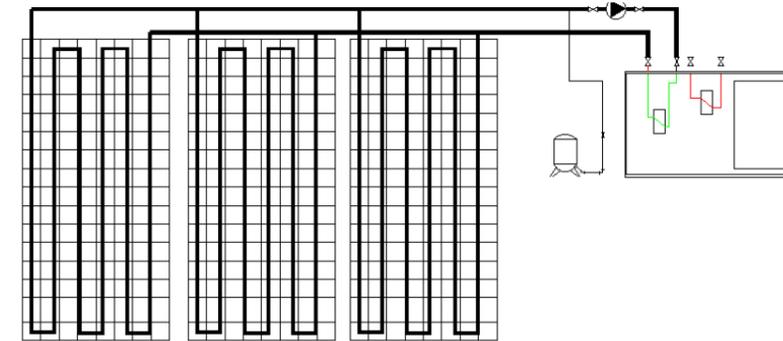
Para la estimación de consumos del proyecto, se ha realizado un cálculo de la demanda energética prevista durante la fase de explotación del túnel. Según los datos obtenidos se estima un consumo total de **2.946,32 MW·h** al año. Estos consumos se justifican en el anejo 15 de instalaciones del túnel.

### 12.1.2 ESTUDIO ENERGÍA GEOTÉRMICA

Debido a que la cimentación del túnel se ejecutará mediante una solución de pantallas profundas, se propone la activación de las mismas mediante la instalación de sondas geotérmicas ancladas a su armadura para poder aprovechar la energía geotérmica que proporciona el terreno y proporcionar así potencia de climatización a los edificios adyacentes a la traza del túnel.

La “**pantalla termoactiva**” cumple una **labor estructural** (función resistente) con la capacidad de llevar a cabo el **intercambio geotérmico** (función térmica) con el subsuelo y el agua subterránea mediante la instalación de sondas geotérmicas en la armadura de la pantalla a modo de serpentín. Las sondas geotérmicas aprovechan la propiedad del terreno de mantener una temperatura constante a partir de una cierta profundidad posibilitando el funcionamiento de las bombas de calor contra este foco de temperatura de una manera mucho más eficiente que los sistemas convencionales.

La bomba de calor se conectará a través de un colector a las pantallas termoactivas según el siguiente esquema.



Esquema conexión pantallas termoactivas a la bomba de calor

### 12.1.3 CAPACIDAD TÉRMICA DE LAS PANTALLAS

Se llevarán a cabo ensayos de caracterización térmica en las pantallas proyectadas para determinar su capacidad térmica y estimar la potencia de climatización disponible. Basándonos en las características geotécnicas de la zona, se estima una tasa de disipación del terreno de 35 W/m<sup>2</sup> de pantalla termoactivada, sujeta a confirmación mediante ensayos térmicos. Considerando la disposición de los conductos y una eficiencia del sistema del 50%, se anticipa la instalación de 293,456 metros de tubería PE-Xa de 25 mm de diámetro en las pantallas laterales del túnel. Con una capacidad de disipación térmica de 35 W/m<sup>2</sup> y un rendimiento del 50%, la potencia total de disipación instalada se estima en 1,999 kW, proporcionando aproximadamente 1,511 kW para refrigeración y alrededor de 2,015 kW para calefacción. Estos valores son preliminares y estarán sujetos a confirmación mediante ensayos y diseño detallado.

Con los datos anteriores podemos estimar la energía disponible instalada para climatización generada por el sistema de intercambio geotérmico según la siguiente tabla:

Tipo	Potencia disponible (kW)	Días de uso estimados	Horas por día	Energía Térmica (MWh/año)
Refrigeración	1.511	240	24	8.706
Calefacción	2.015	120	24	5.804
			<b>Total</b>	<b>14.510</b>

El sistema geotérmico proyectado proporcionaría **14.510 MWh/año** de energía térmica.

### 12.1.4 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica disponible puede utilizarse para climatizar edificios cercanos al túnel, pero es necesario sustituir los sistemas de climatización centralizados en esos edificios por equipos que aprovechen la energía geotérmica. La eficiencia del sistema se ve afectada por la distancia entre los equipos y las pantallas del túnel, ya que las pérdidas de energía aumentan con la longitud de las tuberías. Se han identificado edificios cercanos que podrían beneficiarse, logrando una reducción del 80%-90% en el consumo de energía eléctrica, mejorando la sostenibilidad ambiental y disminuyendo los costos de operación. El apéndice 1 del anejo nº 22 del anteproyecto muestra la ubicación de estos edificios.

Tras identificar los edificios, se ha estimado su consumo anual de calefacción y refrigeración, alcanzando aproximadamente 18,686 MW·h/año. Este cálculo, alineado con la capacidad de suministro de las pantallas termoactivas de 14,510 MW·h/año, evidencia que toda la energía suministrada por el sistema puede ser plenamente aprovechada. Este resultado respalda la viabilidad y eficacia del enfoque implementado, consolidando el sistema de pantallas termoactivas como una estrategia integral de aprovechamiento energético.

### 12.1.5 BALANCE ENERGÉTICO DEL TÚNEL

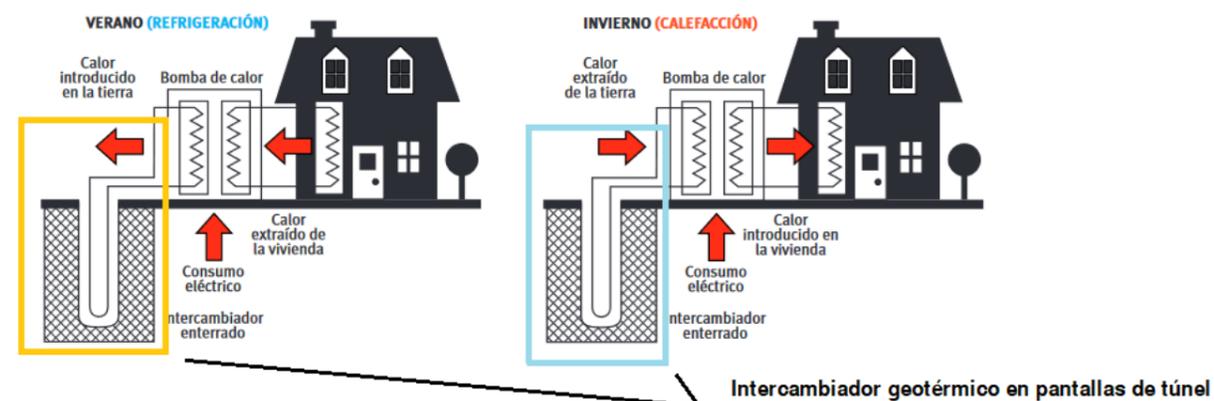
El análisis del balance energético de una infraestructura soterrada, como es un túnel urbano, implica la consideración detallada de las entradas y salidas de energía dentro del sistema diseñado.

#### Entradas de Energía:

- Consumo eléctrico de las bombas de calor: La energía eléctrica utilizada para alimentar las bombas de calor que facilitan el aprovechamiento geotérmico.
- Consumo eléctrico de las instalaciones del túnel: Cualquier otra demanda eléctrica asociada al funcionamiento del túnel, como sistemas de iluminación, ventilación, y otras instalaciones.

#### Salidas de Energía:

- Energía térmica proporcionada por la bomba de calor al sistema de calefacción o refrigeración de las edificaciones colindantes: El calor transferido por las bombas de calor a los edificios, ya sea proporcionando calefacción en invierno o enfriamiento en verano.



Tipo	Energía geotérmica disponible (MWh/año)	Eficiencia bomba de calor (EER/COP)	Energía eléctrica consumida por el sistema de geotermia (MWh/año) (1)	Energía eléctrica consumida por el túnel (MWh/año)	Energía eléctrica consumida. Total (MWh/año)	Balace energético (MWh/año)
Refrigeración	8.706	3,8	2.291			
Calefacción	5.804	4,0	1.451			
	<b>14.510</b>		<b>3.742</b>	<b>2.946</b>	<b>6.688</b>	<b>7.822</b>

(1) En caso de aprovechar toda la energía geotérmica disponible

El sistema de aprovechamiento térmico no genera energía eléctrica directamente, pero permite un significativo ahorro mediante la captación de energía térmica. **La energía térmica generada, 14,510 MW·h/año, supera el consumo eléctrico del túnel, que es de 6,688 MW·h/año.** Estos resultados confirman que el desafío inicial de lograr la sostenibilidad energética integral del proyecto ha sido exitosamente abordado. El equilibrio energético nulo durante la fase de explotación demuestra la eficacia de las medidas adoptadas para garantizar la eficiencia y sostenibilidad a largo plazo del túnel.

### 12.1.6 OTRAS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

Además de la energía geotérmica, se han estudiado otras alternativas como fuentes de energía renovable en el ámbito del proyecto, siendo las siguientes:

- Paneles Fotovoltaicos

- Aerogeneradores
- Pavimento Piezoeléctrico

En el anejo número 22 se justifica por qué se descarta su uso en el ámbito del presente anteproyecto.

### 13. ACABADOS DEL TÚNEL

La concepción general de los acabados del túnel se basa al garantizar una continuidad longitudinal a pesar de los diferentes retranqueos que conforman la geometría de los túneles tanto en planta como en sección, debidos a los diferentes requerimientos de construcción, trazado y normativa.

En los hastiales del túnel se proyectan paneles vitrificados que forman el revestimiento del interior del túnel. Estos paneles siguen la rasante de la calzada con tal de dar continuidad entre las bocas de acceso. Estos solo se ven interrumpidos por las salidas de emergencia y los diferentes accesos e incorporaciones que se producen a lo largo del trazado. La iluminación de LEDs situada sobre los paneles aumenta la luminosidad de los mismos reforzando esta idea. El pavimento de losetas cerámicas en la acera dota de un carácter más urbano al túnel, y se incorpora también en los tramos de apartaderos para vehículos, sin cambios de material, para garantizar esta visión de continuidad a lo largo de todo el túnel.

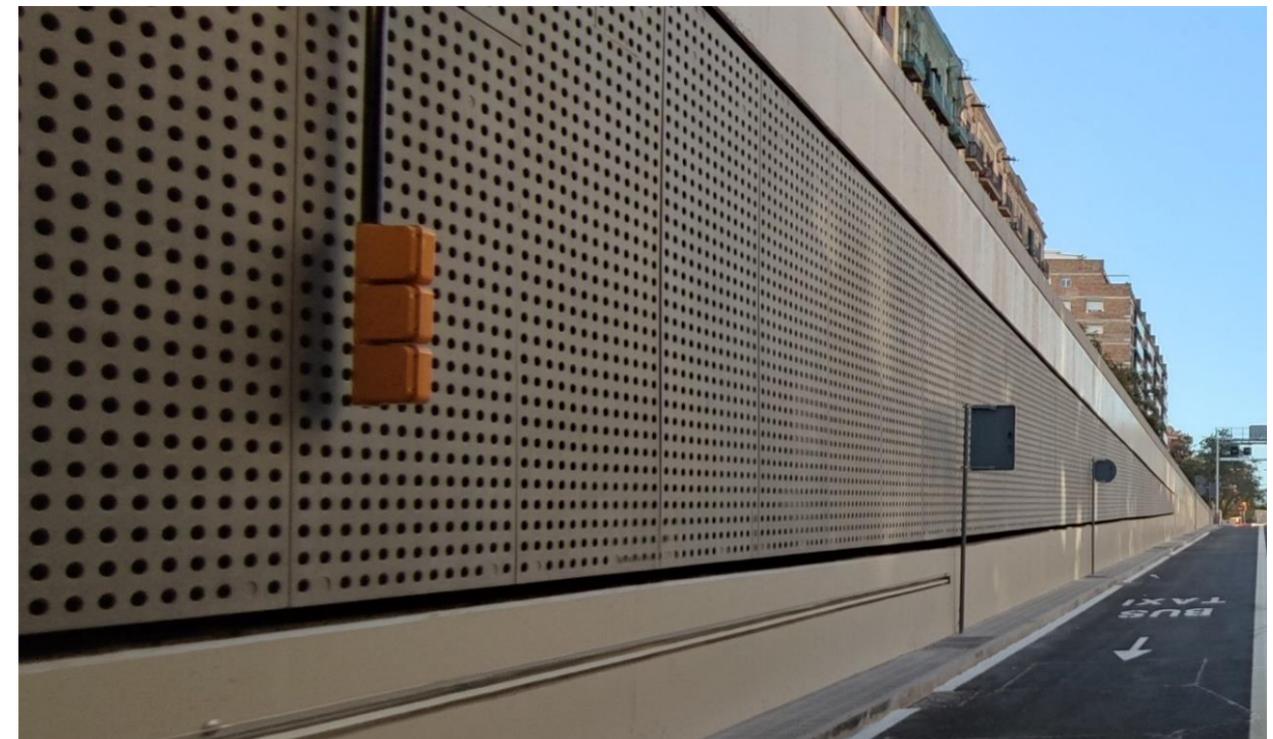


*Acabado del paramento vertical con el panel de acero vitrificado y murete de hormigón armado en la base*

Para la protección contra impacto de los vehículos se proyectan muros laterales de hormigón armado de una altura de 1,10 m que actúa como elemento de seguridad en caso de impacto. En el tramo superior del murete se colocan los paneles de acero esmaltado vitrificado satinado. Por encima de los paneles se reviste la estructura con un enlucido de mortero y posterior pintado de color gris oscuro.

Todas las canalizaciones que discurran por detrás del revestimiento de paneles vitrificados y del murete de hormigón irán entubadas para evitar el desmontaje de los paneles en el caso de pasar nuevas instalaciones.

Tanto en las bocas del túnel como en las rampas de acceso los paramentos verticales se revisten con una solución de paneles fonoabsorbentes, de las mismas dimensiones y sistema de montaje y criterios geométricos que los paneles del interior de los túneles, con un velo incombustible de protección que garantiza un coeficiente de absorción acústico  $\alpha=0,8$  y una reducción de 5db.



*Paneles fonoabsorbentes en las rampas de acceso al túnel*

## 14. DISEÑO VISUAL DEL TÚNEL

El diseño interior de un túnel viario soterrado en la ciudad de Málaga constituye un desafío multidisciplinario donde convergen aspectos técnicos y estéticos. Con el objetivo de integrar esta infraestructura en el entorno urbano de manera innovadora, se presentan tres alternativas de diseño visual que responden a los requerimientos funcionales y a las características específicas del proyecto. Estas propuestas no solo buscan optimizar la funcionalidad del espacio, sino también realzar su valor estético, convirtiendo el túnel en un elemento que enriquece la identidad cultural y arquitectónica de la ciudad.

Alternativa 1: revestimiento de paneles de chapa vitrificada con juntas horizontales:



Esta alternativa implica el uso de paneles de chapa vitrificada que se instalan en las paredes del túnel. La chapa vitrificada ofrece durabilidad y resistencia a la corrosión, lo que es crucial para un entorno como un túnel subterráneo. Las juntas horizontales entre los paneles proporcionan un aspecto uniforme y limpio al revestimiento. La chapa vitrificada puede ofrecer opciones de colores y acabados que se pueden adaptar al entorno circundante, como tonos claros que reflejen la luz para mejorar la visibilidad en el túnel.

Alternativa 2: Revestimiento de paneles de chapa vitrificada con juntas verticales:



Similar al anterior, esta alternativa también utiliza paneles de chapa vitrificada, pero en este caso, las juntas entre los paneles son verticales en lugar de horizontales. Esta distribución vertical no solo proporciona una estética estructurada y modular, sino que también contribuye a evitar el "efecto túnel". Esta opción podría ofrecer un aspecto más contemporáneo y técnico al túnel, con un énfasis en líneas verticales y una sensación de altura.

Alternativa 3: Paneles fonoabsorbentes:



Esta alternativa se centra en la funcionalidad acústica y estética, en continuidad con los paramentos de las bocas de acceso. Los paneles fonoabsorbentes se utilizan para reducir el ruido generado por el tráfico en el interior del túnel, mejorando así la experiencia de conducción y reduciendo la contaminación acústica en áreas circundantes. El color de los paneles fonoabsorbentes debe ayudar también a reflejar la luz y crear una sensación de luminosidad en el túnel, lo que puede ser beneficioso para la visibilidad y la seguridad. Este diseño prioriza la funcionalidad sobre la estética visual, aunque los paneles fonoabsorbentes pueden tener un aspecto moderno y limpio que se integre con el entorno.

Para reforzar el aspecto visual del túnel, en todas las alternativas se propone la colocación de una luminaria LED ornamental continua lo largo del túnel, en la coronación de los paneles de revestimiento, independiente del alumbrado vial del túnel, que permite modificar la intensidad y el color de la luz, pudiendo cambiar su configuración. Así, en fechas señaladas, esta luz puede cambiar de color dando un tono de fondo al túnel del mismo color que se iluminen los edificios singulares del resto de la ciudad.



*Ejemplo de alumbrado lineal ornamental continuo. Túnel de NorthConnex (Sidney)*

Cada una de estas alternativas tiene sus propias características y ventajas, y la elección entre ellas dependerá de una serie de factores, como los requisitos estéticos, funcionales, así como integración de los diferentes elementos de señalética (salidas de emergencia, equipos de socorro y extinción de incendios, etc.) presentes a lo largo del recorrido:



*Detalles de acabados de salidas de emergencia y equipos de PCI*

## 15. ANALISIS DE RIESGO DEL TÚNEL

### 15.1 INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 635/2006 establece que cuando un túnel tenga características especiales con relación a determinados parámetros, deberá llevarse a cabo un análisis de riesgo para establecer si son necesarias medidas adicionales de seguridad o equipamiento complementario, con el fin de garantizar un adecuado nivel de seguridad en el túnel.

Para el túnel previsto en el Anteproyecto del Eje Litoral soterrado de Málaga, es preceptivo realizar un análisis de riesgo que compruebe el nivel de seguridad del mismo, debido a que cuenta con características especiales con relación a los siguientes parámetros:

- Caso 5: Pendientes superiores al 3%.
- Caso 6: Anchura del carril derecho inferior a 3,5 m.
- Caso 7: Ventilación longitudinal en túnel unidireccional.

Para la realización de este análisis de riesgo se ha seguido el Método General establecido en la "Metodología de análisis de riesgo en túneles de la Red de Carreteras del Estado" (MARTE) elaborado por la Subdirección General

de Conservación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y aprobado por Resolución de 30 de mayo de 2012 del Secretario de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda.

### 15.2 METODO GENERAL

Este método se basa en la comparación del túnel objeto de estudio (túnel real) con un túnel de referencia dotado con todo el equipamiento obligatorio que prescribe el RD 635/2006 (túnel virtual) ante una serie de escenarios de incendio predeterminados, ya que son las situaciones que entrañan un mayor riesgo para los usuarios.

El Método General se basa, a su vez, en la integración de tres modelos, cada uno de los cuales trata de reproducir un determinado aspecto del riesgo del túnel, para llegar finalmente a cuantificar el riesgo del túnel analizado. Estos modelos son:

- Modelo de riesgo del túnel.
- Modelo de ventilación.
- Modelo de comportamiento de los usuarios.

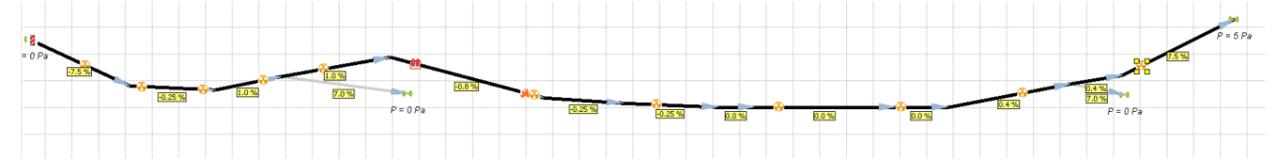
De la integración de los 3 modelos se calcula el **Índice de riesgo**, el cual se define como el cociente entre el Coeficiente de Riesgo del túnel real y el Coeficiente de riesgo del túnel virtual, como se refleja en la siguiente fórmula:

$$IR = \frac{CR_{TR}}{CR_{TV}}$$

### 15.3 TUBO OBJETO DE ESTUDIO

Se ha realizado el análisis de riesgo en el tubo 2 inferior sentido Oeste debido a que presenta mayores tramos con pendientes longitudinales importantes al situarse debajo del tubo 1 sentido Este por lo cual se ha considerado como el tubo más desfavorable.

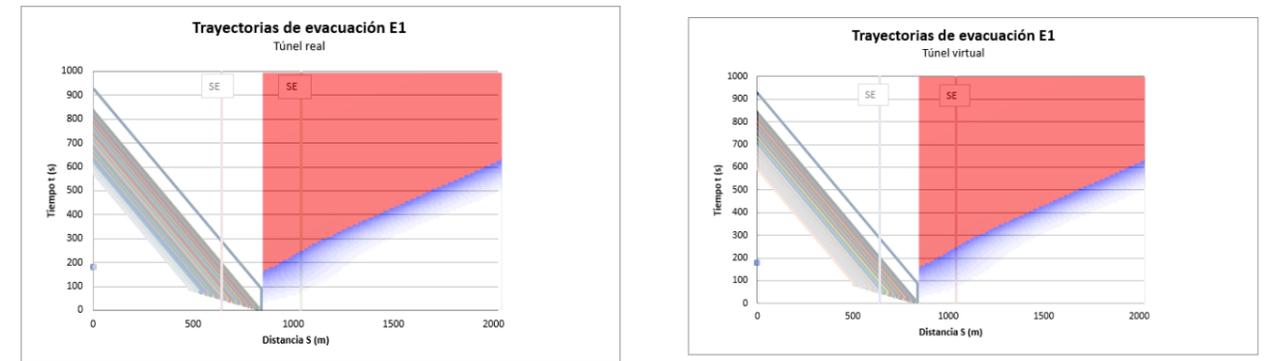
Según la MARTE, para el caso de tuneles unidireccionales, con salidas de emergencia en el túnel real y en el virtual, el incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el caso del túnel real como para el caso del túnel virtual, realizándose el análisis del mayor tramo del túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas (en la que se produce el incendio). Por lo anterior, se ha escogido el tramo S4-S6 con incendio en la salida 5 (a 839 m de la boca de entrada) ya que según el perfil longitudinal, el tramo inmediatamente anterior a la S5 presenta pendiente descendente siendo mas desfavorable para los usuarios.



Modelización del tubo

### 15.4 RESULTADOS

Con los modelos de ventilación y del comportamiento de los usuarios resultan gráficas de trayectorias de evacuación vs evolución de los humos para 4 escenarios de incendio predeterminados, tanto para el túnel real como para el túnel virtual, como las que se muestran a continuación:



Ejemplo trayectorias de evacuación túnel real y virtual

Integrando los resultados del modelo de riesgo con los usuarios atrapados en cada uno de los 4 escenarios se obtiene el Índice de Riesgo del túnel:

$CR_{TR} = 10,52$

$CR_{TV} = 9,34$

$IR = 1,13$

**TÚNEL SEGURO**

Criterios de aceptación:

- $IR < 1,15$  Túnel seguro
- $1,15 \leq IR \leq 1,50$  Túnel con posibles restricciones
- $IR > 1,50$  Túnel con peligrosidad elevada

## 16. PLAN DE CONTINGENCIAS

Se ha desarrollado en el marco del presente anteproyecto un plan de contingencias donde se proponen los protocolos de actuación y las acciones a llevar a cabo en caso de producirse un incidente tanto en la fase de construcción del túnel como durante la explotación del mismo.

### 16.1 PLAN DE CONTINGENCIA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Durante la fase de construcción del túnel se elabora un plan de contingencia que garantiza la seguridad de los trabajadores y la integridad de la infraestructura y la población circundante. Además, Se enfoca en la gestión de incidencias para prevenir impactos negativos.

#### Plan de Monitoreo y Control:

Incluye control geotécnico y medidas para controlar desplazamientos en edificaciones y pantallas.

Se establece un equipo multidisciplinario y canales de flujo de información.

Implementa sistemas para seguimiento continuo.

#### Contingencias Vinculadas a la Auscultación:

Se zonifica el nivel de riesgo y se definen umbrales para parámetros evaluados.

Se evalúan factores como método constructivo, profundidad de excavación, afectación al nivel freático y materiales en el frente de excavación.

#### Procedimientos de Superación de Límites:

Define límites de aviso, alerta y alarma.

Establece inspecciones y medidas correctivas para cada nivel de riesgo.

Propone acciones específicas en caso de observar daños funcionales o estructurales.

#### Actualización Continua de la Base de Datos de Auscultación:

Implica colaboración de todas las partes involucradas.

Complementa datos de lecturas con información adicional para un análisis completo.

Los técnicos de la Unidad de Instrumentación son responsables de la actualización.

### 16.2 PLAN DE CONTINGENCIA DURANTE LA EXPLOTACIÓN

Durante la fase de explotación los objetivos del plan de contingencia son los siguientes;

- Analizar los efectos sobre el tráfico de un posible corte de accesos al túnel por incidentes internos. Se han analizado 14 escenarios.
- Prevenir y controlar sucesos no planificados pero previsibles.
- Establecer procedimientos escritos para enfrentar Prealertas, Alertas o Emergencias.
- Establecer procedimientos para comunicación efectiva con operadores y gestores de transporte.

#### Contingencias Previstas en Movilidad en el Túnel

- Incendios de vehículos.
- Averías de vehículos.
- Accidentes interiores.

#### Cadena de Transmisión de la Incidencia:

- Sistemas de detección conectados al tráfico.
- Grados de alarma según la incidencia.
- Comunicación bidireccional entre gestores, Ayuntamiento, equipos de emergencia y centro de control de tráfico.



**Planes de Desarrollo en Caso de Incidencia:**

- Plan de desvíos de tráfico privado para diferentes escenarios.
- Medidas correctoras para problemas de circulación anticipados.
- Previsión de servicios como grúas y cambios en la programación semafórica.

**Plan de Comunicación:**

- Estructurado para gestionar la comunicación durante situaciones de emergencia.
- Define roles y responsabilidades, establece protocolos y recomienda difusión de planes alternativos de transporte.
- Uso de medios como radio, redes sociales y ruedas de prensa para informar a la población.

Se desarrolla en el anejo número 21 el plan de contingencias del túnel, definiendo los protocolos de actuación y las medidas de acción propuestas.

**17. SERVICIOS AFECTADOS**

En el anejo número 16 se adjunta la descripción de las diferentes reposiciones de los servicios afectados por las obras. En la siguiente tabla se resumen la totalidad de los mismos añadiendo la estimación económica de su reposición:

	SSAA	LONG (m)	IMPORTE (€)
BAJA TENSIÓN	AF-BT 01	103	18.540,00 €
	AF-BT 01'	106	19.080,00 €
	AF-BT 02	29	5.220,00 €
	AF-BT 03	23	4.140,00 €
	AF-BT 04	153	27.540,00 €
	AF-BT 05	248	44.640,00 €
	AF-BT 06	37	6.660,00 €
	AF-BT 07	20	3.600,00 €
MEDIA TENSIÓN	AF-BT 08	40	7.200,00 €
	AF-MT 01	50	17.500,00 €
	AF-MT 02	91	31.850,00 €
	AF-MT 03	120	42.000,00 €
	AF-MT 04	278	97.300,00 €
	AF-MT 04'	309	108.150,00 €
	AF-MT 05	52	18.200,00 €
GAS NATURAL	AF-MT 06	20	7.000,00 €
	AF-MT 07	44	15.400,00 €
	AF-GAS 01	27	17.550,00 €
	AF-GAS 02	29	18.850,00 €
	AF-GAS 03	19	12.350,00 €
	AF-GAS 04	35	22.750,00 €
	AF-GAS 05	156	101.400,00 €
TELEFÓNICA	AF-GAS 06	132	85.800,00 €
	AF-GAS 07	111	72.150,00 €
	AF-TELEF 01	258	232.200,00 €
	AF-TELEF 01'	37	33.300,00 €
	AF-TELEF 02	208	187.200,00 €
	AF-TELEF 03	205	184.500,00 €
JAZZTEL	AF-TELEF 04	334	300.600,00 €
	AF-TELEF 05	138	124.200,00 €
	AF-TELEF 06	80	72.000,00 €
	AF-JAZZ 01	200	180.000,00 €
	AF-JAZZ 02	204	183.600,00 €
	AF-JAZZ 03	205	184.500,00 €
	AF-JAZZ 04	0	0,00 €
	AF-JAZZ 05	177	159.300,00 €

ORANGE	AF-ORANGE 01	64	57.600,00 €
	AF-ORANGE 02	364	327.600,00 €
	AF-ORANGE 03	148	133.200,00 €
	AF-ORANGE 04	36	32.400,00 €
	AF-ORANGE 05	40	36.000,00 €
AGUA POTABLE	AF-AP 01	51	71.400,00 €
	AF-AP 01'	92	128.800,00 €
	AF-AP 02	134	187.600,00 €
	AF-AP 03	167	41.750,00 €
	AF-AP 04	46	11.500,00 €
	AF-AP 04'	83	20.750,00 €
	AF-AP 05	94	23.500,00 €
	AF-AP 06	30	7.500,00 €
	AF-AP 07	46	11.500,00 €
	AF-AP 08	899	1.258.600,00 €
	AF-AP 09	719	639.910,00 €
AF-AP 10	400	100.000,00 €	
AF-AP 11	24	6.000,00 €	
ALUMBRADO PÚBLICO	AF-ALUMPUB 01	2738	410.700,00 €
SEMAFORIZACIÓN COBRE	AF-SEM 01	2055	246.600,00 €
SEMAFORIZACIÓN FO	AF-SEM 02	1633	195.960,00 €
SEMÁFOROS	AF-SEM 03	2346	281.520,00 €
SANEAMIENTO	Colector H.A. 1.400 en Calle Gutemberg	66	48.840,00 €
	Colector H.A. 1000 mm en Santa Cristina	44	18.480,00 €
	Colector H.A. 800 mm en Malagueta	213	68.160,00 €
	Elevación FD 500 mm en Pz. Malagueta	100	42.000,00 €
	Arroyo del Calvario - Marco 2x3 metros	416	482.560,00 €
	Arroyo del Calvario - Marco 2x2 metros	132	153.120,00 €
	Colector Doble HA de 800 mm en Paseo de Los Curas	78	49.140,00 €
	Colector HA de 1.200 mm (C/ Alcazabilla)	577	305.810,00 €
	Colector HA de 800 mm en C/ Córdoba	86	27.520,00 €
	Colector PVC de 630 mm en Tomas Heredia	86	18.060,00 €
	Colector Plaza Marina. Tubo H.A. 1.200 mm	711	376.830,00 €
	Marco 3,0 * 1,80 m - Carretería San Lorenzo	702	1.109.160,00 €
	Colector Soho PVC 800mm	501	125.250,00 €
	<b>TOTAL</b>		<b>9.701.590,00 €</b>

## 18. PROPUESTA DE URBANIZACIÓN

### 18.1 INTRODUCCIÓN

El presente anteproyecto incluye una propuesta de ordenación urbana sobre el nuevo túnel. La propuesta integra la definición realizada en el Anteproyecto ECOSISTEMA LITORAL cuyo ámbito se sitúa en la plaza de la Marina y el paseo de los Curas.

La inserción del túnel a través del centro "litoral" de Málaga entre el Paseo de Pablo Picasso y el puente sobre el río Guadalmedina comporta una reurbanización integral de la superficie urbana, tanto por la disminución de gran parte del tráfico de paso como por la implantación de los accesos al nuevo túnel soterrado y de los equipamientos e infraestructuras que lleva asociado.

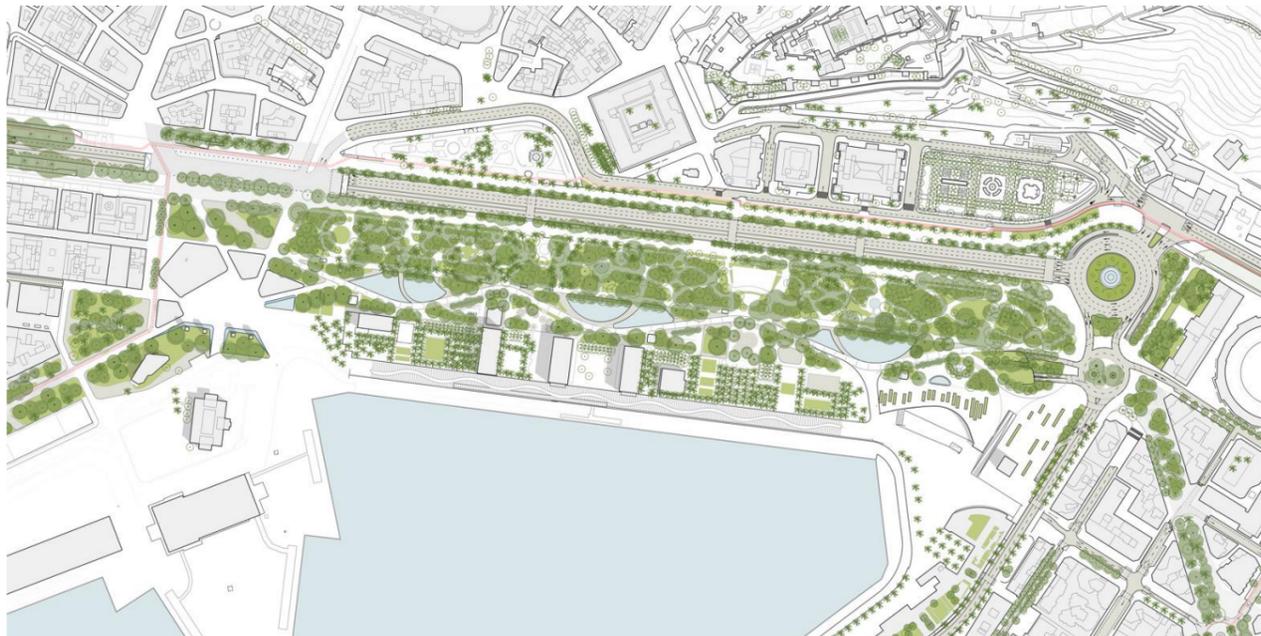
La construcción del túnel es una gran oportunidad urbana para la recuperación del entorno litoral del centro de Málaga y la reconexión de los barrios de Soho, Centro, la Malagueta y la Caleta para el uso peatonal y la circulación no motorizada.



*Ordenación en superficie. Plano de conjunto*

El eje vertebral de este entorno, el actual Muelle Uno con su equipamiento cultural (Museo Pompidou) y comercial se verá ampliado considerablemente con la reurbanización y eliminación del tráfico en el Paseo de los Curas, verdadero espacio de conexión entre el Parque de Málaga y el frente litoral del Muelle Uno y el puerto.

Este proyecto se recoge en la propuesta presentada por el equipo de B720 con el proyecto "Málaga Ecosistema Litoral" y que se encaja con la propuesta que recoge este anteproyecto respecto a la infraestructura viaria soterrada y los elementos necesarios para su operatividad: accesos, servicios urbanos afectados, ventilaciones, salas técnicas, etc.



*Ordenación en superficie. Integración con Ecosistema Litoral*

## 18.2 ACCESOS

En superficie, el anteproyecto propone la integración de los accesos a la trama urbana actual y futura de manera que cause la mínima afectación a la continuidad de los recorridos peatonales y no motorizados y posibilite la reordenación de los viales de tráfico actuales hacia espacios mixtos compartidos.

Tres entornos se encuentran afectados por las bocas de acceso al túnel: las bocas situadas al este en el paseo de Pablo Ruiz Picasso, los accesos en la plaza del General Torrijos, y las bocas sobre la Avenida M. Agustín Heredia alrededor de la Alameda de Colón y el Puente de Antonio Machado.

Las bocas Este, en el Paseo Marítimo Pablo Ruiz Picasso, se sitúan en el entronque de la calle Gutenberg y el hotel Miramar. Dada la reducida sección disponible y la necesidad de optimizar el espacio disponible para los peatones y el acceso a la playa, se propone la disposición de las bocas de manera asimétrica. Esta configuración permite minimizar el efecto barrera que producen las rampas de entrada y salida y simplificar la vialidad de conexión entre el túnel y la trama urbana del barrio de la Caleta. También el espacio entre ambas bocas permite el acceso a la playa. De este modo la imagen urbana de la sección transversal puede hacerse más amable y reducir la sección viaria de seis carriles a cuatro, con lo que ello comporta respecto a las posibilidades de integración de las rampas de las bocas (coberturas verdes, elementos de reducción acústica, etc.)



*Ordenación en superficie. Embocadura Este*

A partir de este punto se recupera gran parte de la sección del Paseo para uso peatonal, especialmente en el tramo entre la Plaza de la Malagueta y la plaza del General Torrijos. La avenida Cánovas del Castillo se convierte en un vial peatonal de acceso restringido al tráfico privado, con prioridad para el peatón (en plataforma única) y el paso de transporte público. Sin duda, una actuación clave generada por la implantación del túnel y que fomentará la reconexión de los espacios urbanos este y oeste de la Malagueta que hoy se encuentran afectados por el tráfico pasante externo al barrio.

La Av. Cánovas del Castillo peatonalizada converge en su extremo con la intersección del Paseo de los Curas, verdadero nodo de movilidad urbana tanto peatonal (acceso a equipamientos y servicios del Muelle Uno) como motorizada (acceso al centro, a la Av. Del Parque, al Muelle de Levante y la Terminal de Cruceros).

En este entorno urbano, alrededor de la Plaza General Torrijos, se implantan los accesos centrales del túnel que deben dar servicio al centro de la ciudad y a las terminales de cruceros. Sin embargo, la importancia ciudadana de esta área hace que la disposición de las rampas deba integrarse con sumo esmero previniendo la ordenación urbanística futura propuesta por el proyecto Ecosistema Litoral.

La confluencia del parque de Málaga, con la Malagueta y la incorporación del Paseo de los Curas al sistema de espacios libres obliga a disponer las bocas de entrada y salida con las posiciones más adecuadas para su óptima integración futura. Así, dos de las bocas (entrada y salida Este) se sitúan alrededor de la glorieta de la plaza Torrijos y las otras dos (entrada y salida Oeste) sobre la traza del Paseo de los Curas en la confluencia con el Paseo de la Farola y frente al aparcamiento del Museo Pompidou.



*Ordenación en superficie. Enlace Torrijos*

Los espacios laterales ocupados por las bocas en la Plaza de Torrijos no afectan la configuración de la posición e imagen de la glorieta central y la fuente de las Tres Gracias, puesto que se implantan concéntricamente con la franja exterior de la glorieta. Ambas posiciones de las rampas minimizan la afección a las zonas de flujo peatonal y al arbolado existente de gran porte frente al edificio del Antiguo Hospital Noble.

La reconfiguración del tráfico en la plaza sí obliga a reurbanizar los bordes norte y sur de la misma para compatibilizarlo con los flujos viarios del Paseo de Reding por el norte y del Paseo de la Farola por el sur.

La conexión con el Paseo Reding y el túnel de la Alcazaba rediseña los espacios de paso e isletas peatonales hacia la Avda. Cervantes y el lado norte del Paseo del Parque.

La conexión del Paseo de la Farola y el Muelle Uno y la integración de las bocas del Paseo de los Curas será la que defina el proyecto urbano a desarrollar en el futuro. Este incorporará también las salidas del aparcamiento subterráneo del Muelle Uno bajo el nuevo Pompidou.

Será necesaria una coordinación entre la urbanización del futuro Paseo de los Curas con todas las salidas de emergencia peatonal del túnel, las ventilaciones y accesos a las salas técnicas.

La sala técnica central se sitúa junto a la estación de la Marina (futura estación de bus bajo la misma plaza). Los accesos a la misma podrían integrarse con la propia infraestructura de la estación, aunque con operatividad independiente para minimizar las salidas en superficie que pudieran afectar a la reurbanización de la plaza de la Marina.

La propuesta de reurbanización del tramo de la Avda. Manuel Heredia, también en plataforma única y prioridad peatonal hasta la intersección con la Alameda de Colón incorpora rampas de entrada y salida independientes a cada lado de la avenida. La ordenación futura y el desarrollo urbanístico del futuro Muelle Cuatro tendrá sin duda condicionantes de movilidad motorizada y peatonal en la configuración urbana de esta avenida (accesos a los futuros aparcamientos y peatonalización de la trama urbana del barrio del Soho).



*Ordenación en superficie. Avenida Manuel Heredia*

Las rampas de acceso, de un único carril, se encajan en una propuesta de urbanización que permite la óptima permeabilidad entre el Soho y el futuro Muelle Cuatro. Las bocas del extremo Oeste del túnel emergen a la superficie antes del cruce con el cauce del río Guadalmedina. La sección más amplia de la calle en esta zona posibilita disponer las dos bocas de entrada y salida en doble carril en paralelo para maximizar la posibilidad de reordenación de la superficie.



Ordenación en superficie. Embocadura Oeste

La propuesta de trazado e implantación de toda la infraestructura asociada a su operatividad reflejada en este anteproyecto se ha desarrollado no sólo para cumplimentar su viabilidad técnica y de construcción, sino especialmente para generar un espacio urbano en superficie que pueda desarrollarse en el futuro con la mínima interferencia y condicionantes creados por la operatividad, funcionalidad y seguridad del túnel.

## 19. PLAZO DE LAS OBRAS

El plan de obra se ha desarrollado según el siguiente esquema, que se corresponde con las fases de ejecución de obra previstas y desarrolladas en el anejo número 17, donde se muestran las actividades más representativas:

- Fase 0. Implantación de las obras.
  - Desvíos de tráfico.
- Fase 1. Túnel E-O
  - Servicios afectados.
  - Pantallas.
  - Losa de cubierta
- Fase 2. Túnel O-E
  - Servicios afectados.
  - Pantallas.
  - Losa de cubierta

- Fase 3. Trabajos bajo cubierta
  - Excavación bajo cubierta.
  - Losa inferior e intermedia.
  - Salidas de emergencia y sala técnicas
  - Instalaciones de túnel
  - Arquitectura y acabados

Los rendimientos utilizados se corresponden con ratios extraídos de otras similares como pueden ser el túnel de la plaza de las Glóries en Barcelona o el soterramiento de la A5 en Madrid.

Se estima una jornada laboral de 40 horas semanales para la realización de la presente planificación temporal de las obras (5 días laborables/semana x 8 horas/día). Cabe recordar que en esta tipología de obra subterránea es habitual trabajar por turnos los 7 días de la semana. Se ha considerado en la planificación la realización de trabajos a doble turno en aquellas actividades que no tienen repercusión en superficie (instalaciones bajo cubierta, etc..). Al ser una obra en entorno urbano la actividad queda restringida al horario de trabajo diurno (7-22h).

En el anejo número 20 se incluye el diagrama de Gantt donde se muestra el detalle de la planificación realizada para las actividades principales del proyecto y la relación entre ellas. De dicha planificación se obtiene una duración total de las obras de **TREINTA Y SEIS (36) meses**.

## 20. PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE LAS OBRAS

El presupuesto estimativo de las obras del soterramiento del Eje Litoral se ha realizado a partir de las mediciones de las unidades fundamentales de obra aplicándoles macroprecios obtenidos en su mayor parte de ratios procedentes de proyectos de la misma índole y de la experiencia profesional del equipo redactor.

Asciende el presupuesto estimativo de las obras del soterramiento del Eje Litoral a la cantidad de **DOSCIENTOS OCHENTA Y DOS MILLONES OCHOCIENTOS VEINTIÚN MIL NOVENTA Y TRES EUROS CON CUARENTA Y CINCO CÉNTIMOS** (282.821.093,45 €) SIN IVA.

Para la estimación del presupuesto de la propuesta de urbanización del ámbito del presente anteproyecto, cuya superficie asciende a 147.927 m<sup>2</sup>, se han tomado como base las ratios de costes ejecución por metro cuadrado obtenidas en el Anteproyecto de Ecosistema Litoral, obteniéndose una ratio de 195 €/m<sup>2</sup> para los ámbitos no considerados en ese Anteproyecto según se justifica en el documento 3 del presente Anteproyecto.

Asciende el presupuesto estimativo de las obras de urbanización del ámbito del anteproyecto, incluyendo el presupuesto del Anteproyecto de Ecosistema Litoral, a la cantidad de **CUARENTA Y UN MILLONES TRESCIENTOS CATORCE MIL TRESCIENTOS SETENTA Y CUATRO EUROS CON OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS** (41.314.374,84 €) SIN IVA.

Asciende el conjunto de la actuación definida en el presente Anteproyecto a la cantidad de **TRESCIENTOS VEINTICUATRO MILLONES CIENTO TRENTA Y CINCO MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS CON VEINTINUEVE CÉNTIMOS** (324.135.468,29 €) SIN IVA.

## 21. CONCLUSIONES

En el presente anteproyecto se han abordado de manera integral todos los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas, que establece el alcance del contrato suscrito por ESTEYCO con PROMALAGA. Este anteproyecto es una etapa esencial para avanzar en el diseño del Eje Litoral Soterrado, una iniciativa clave dentro del Plan Málaga Litoral. Este plan, de carácter integral, busca abordar las necesidades presentes y futuras de Málaga, considerando documentos como el Plan General de Ordenación Urbana, el Plan de Movilidad Urbana Sostenible, la Agenda Urbana y el Plan del Clima.

Los objetivos centrales del proyecto del Eje Litoral Soterrado son diversos. En primer lugar, se pretende fomentar el uso del transporte público metropolitano y reducir el impacto del tráfico Este-Oeste en el Área Central de la ciudad. Además, se compromete a minimizar el impacto ambiental y las externalidades, mejorar las áreas verdes y espacios públicos, lograr la máxima compatibilidad con la estructura urbana existente y promover la integración urbana, así como integrar de manera definitiva la ciudad con el Puerto y el mar. Para lograr estos objetivos, el soterramiento del Eje Litoral se erige como una actuación clave dentro del Plan, permitiendo reordenar el tráfico en superficie, pacificando el entorno urbano del túnel y generando nuevos espacios verdes sobre el mismo.

Para desarrollar el anteproyecto del soterramiento que da lugar a un nuevo túnel urbano de 2,3 km. de longitud, se ha seguido un proceso iterativo y comunicativo, mediante reuniones frecuentes para coordinar las diferentes disciplinas que intervienen en su diseño: arquitectura, estructuras, instalaciones, movilidad y las estrategias de sostenibilidad, así como para coordinarse con otras actuaciones del Plan Málaga Litoral y las diferentes Administraciones Públicas (Ayuntamiento de Málaga, Autoridad Portuaria, Junta de Andalucía, Ministerio de Medio Ambiente, etc.). Estas reuniones han sido cruciales para concordar objetivos, identificar condicionantes y requerimientos, y asegurar la coherencia del anteproyecto.

Una vez definido todo los condicionantes del proyecto se ha llevado a cabo un análisis multicriterio para definir la sección tipo óptima del túnel, a un nivel o dos niveles según el tramo, según los condicionantes existentes. Este análisis, permitió seleccionar una solución que cumpliera los objetivos establecidos para el eje litoral. Finalmente, la alternativa híbrida fue la solución que obtuvo un mejor resultado y la que fue desarrollada en detalle en este documento, ya que ofrece una sinergia efectiva, aprovechando las fortalezas individuales de las alternativas de 1N y 2N. Con el análisis coste-beneficio realizado la inversión proporciona una TIR del 28%, quedando justificada también la ejecución del túnel a nivel económico.

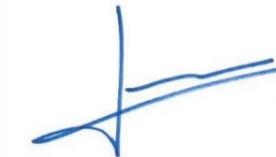
Este anteproyecto ha sido desarrollado exhaustivamente para evaluar la viabilidad técnica, comprender los condicionantes, realizar un diseño preliminar, estimar los costes, identificar riesgos y desafíos, establecer fases constructivas y elaborar una planificación, y crear la documentación esencial para las fases futuras del proyecto. Su enfoque integral y su respuesta a los requisitos establecidos reflejan un sólido progreso en la planificación del Eje Litoral Soterrado.

En Madrid, diciembre de 2023,

Los I.C.C.P. Autores del Anteproyecto



Fdo.: Carlos García Acón  
Esteyco S.A.



Fdo.: Miguel Bañares Dorado  
Esteyco S.A.

## 22. EQUIPO TÉCNICO

<b>DIRECCIÓN DEL PROYECTO:</b>	<b>AYUNTAMIENTO DE MÁLAGA</b>	<b>Mediciones y presupuesto:</b>	Jesús Daniel Mondragón Asprilla Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
<b>Director:</b>	Juan Antonio Alba Ripoll Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Coordinador General de Infraestructuras y Proyectos	<b>Planificación de las obras y fases constructivas:</b>	Iván Perea Méndez Ingeniero Civil
<b>EQUIPO REDACTOR:</b>	<b>ESTEYCO, S.A.</b>	<b>Servicios afectados y expropiaciones:</b>	Xavier Aventín Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
<b>Autores del Anteproyecto:</b>	Carlos Garcia Acón Miguel Bañares Dorado Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	<b>Medioambiente:</b>	Lourdes Cabello Bióloga
<b>Coordinador del Anteproyecto:</b>	Iván Perea Méndez Ingeniero Civil	<b>Energías renovables y geotermia:</b>	Iván Perea Méndez Ingeniero Civil
<b>EQUIPO TÉCNICO:</b>		<b>Coordinador de delineación:</b>	Ricardo Lázaro Recuero Delineante proyectista
<b>Arquitectura y paisajismo:</b>	Andreu Estany i Serra Adrià Fenoll Arquitectos	<b>BIM Manager:</b>	Alberto Detrell Arquitecto
<b>Geología y geotecnia:</b>	Ivan D'Angiuro Geólogo	<b>COLABORADORES:</b>	
<b>Túneles:</b>	Mario Retamosa Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	<b>Tráfico y movilidad:</b>	<b>DOYMO, S.A.</b> David Soler Grima Ingeniero Civil
<b>Hidrogeología:</b>	Ivan D'Angiuro Geólogo	<b>Instalaciones de túnel y análisis de riesgo:</b>	<b>TEKIA, S.A.</b> Juan Carlos Ramírez González Ingeniero Industrial
<b>Estructuras:</b>	Esther Solà Borja Torres Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	<b>Topografía:</b>	<b>3D GEOSPACE S.C.A</b> Ismael Fernández Luque Doctor en Técnicas Geomáticas aplicadas
<b>Trazado, firmes y seguridad vial:</b>	Alejandra Fernández Jose Manuel Parrilla Daniel Rodriguez Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	<b>Jardinería:</b>	<b>DOCTOR ÁRBOL: ÁRBOL INVESTIGACIÓN Y GESTIÓN S.L.</b> Gerard Passola Parcerissa Biólogo
<b>Hidrología y drenaje:</b>	Sergio Morant Jesús Daniel Mondragón Asprilla Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos	<b>Presentación multimedia:</b>	<b>GOREAL ESTUDIO S.L.</b> (Vídeo multimedia) <b>PHRAME DESIGN S.L.</b> (Renderizados) José Rueda (Vuelo Dron)
<b>Estudio Coste-Beneficio:</b>	José Carlos Otero Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos		