

Las obras subterráneas, soluciones de movilidad en grandes entornos urbanos,
su planificación y ejecución

Nicola Della Valle

Tunnelconsult, España

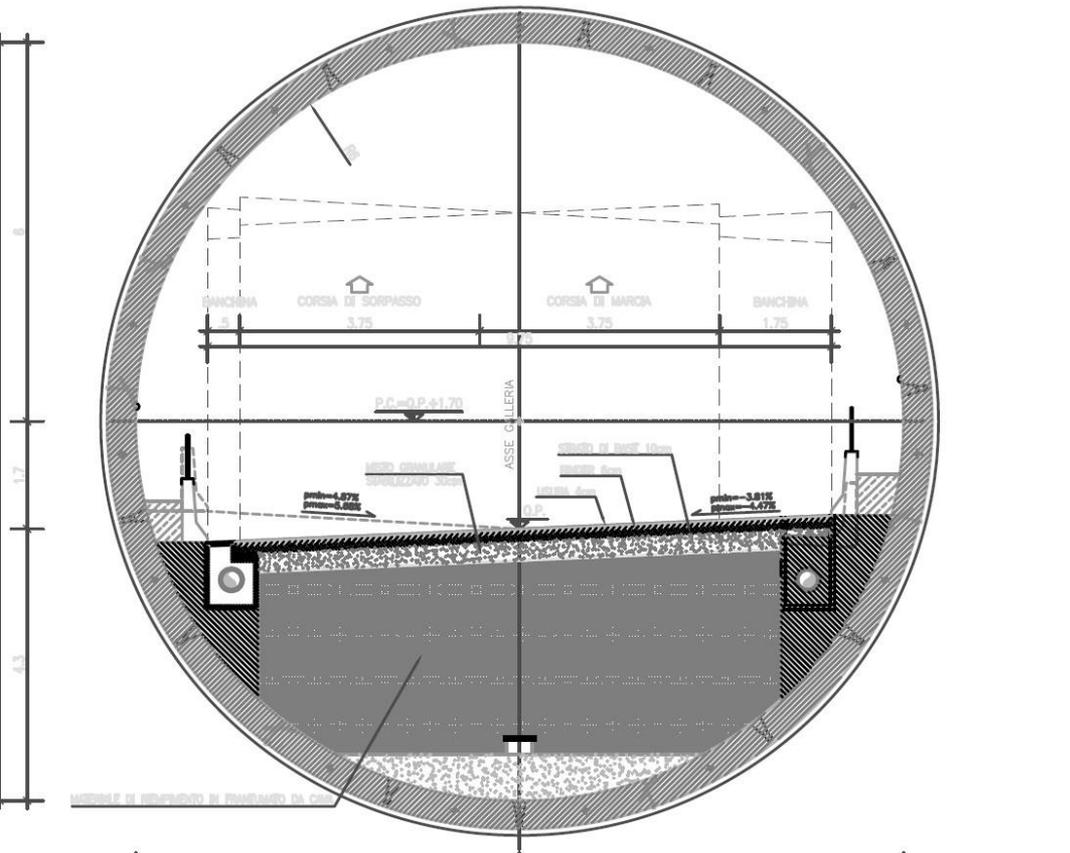
Para mejorar las condiciones de vida en superficie y hacer nuestras metrópolis más habitables, la solución obvia es dirigirse al subsuelo para instalar las instalaciones que no son prescindibles en superficie y recuperar así el espacio urbano mejorando también la movilidad de los habitantes.

En esta dirección la planificación de obras subterráneas miradas a mejorar las conexiones entre polos de demanda/oferta a lo largo de ejes existentes o, incluso, la utilización de las obras subterráneas para dirigir el desarrollo urbano de manera planificada y controlada.

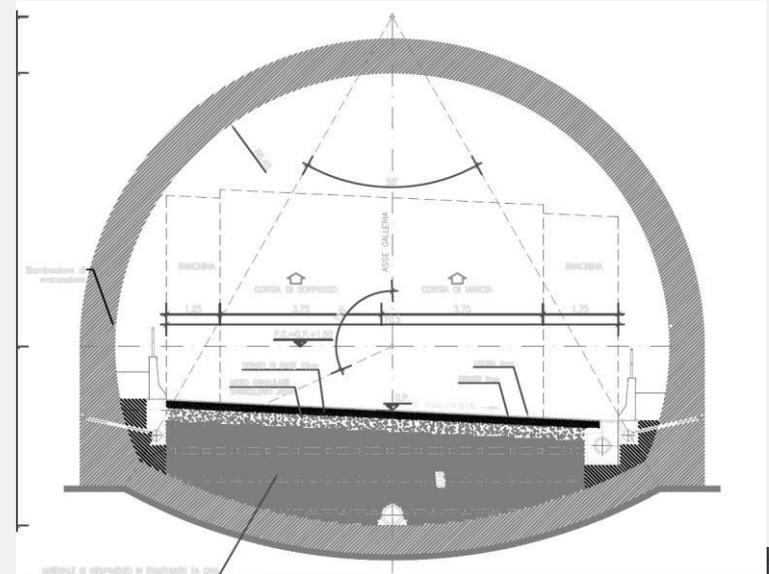
En esencia, se trata de construir estructuras de transporte, tanto ferroviario como vial, básicamente túneles, que satisfagan los requerimientos de seguridad y eficiencia necesarios, para poder descongestionar las áreas urbanas permitiendo un desarrollo orientado a una mejor calidad de vida de sus habitantes.

Principales soluciones adoptable para túnel de transporte en subterráneos:

Túnel monotubodados vías convencional	Túneles gemelos vías convencional	Túneles gemelos vías TBM
Túnel único una vía TBM	Túnel carretero bidireccional	Túnel carretero 2 niveles
Túnel mixto carretero + ferrocarril	Túnel 3 Decks Istanbul	



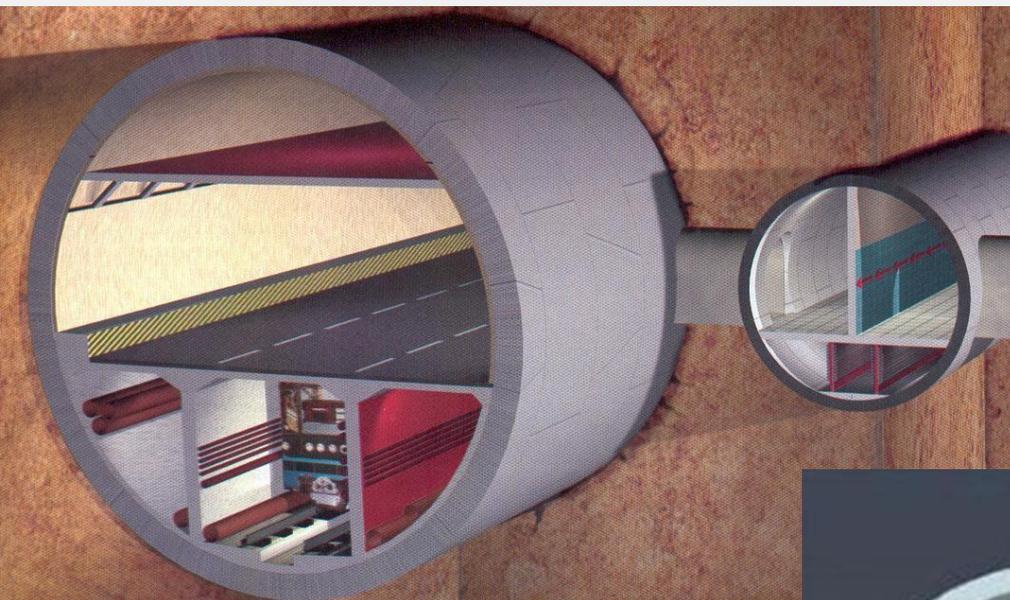
Solución bitubo para autopista



La solución contunelera lleva a túneles de grandes dimensiones, con aprovechamiento de mediana, y una gran cantidad de espacio per cápita en solera comparado con una excavación de tipo tradicional.



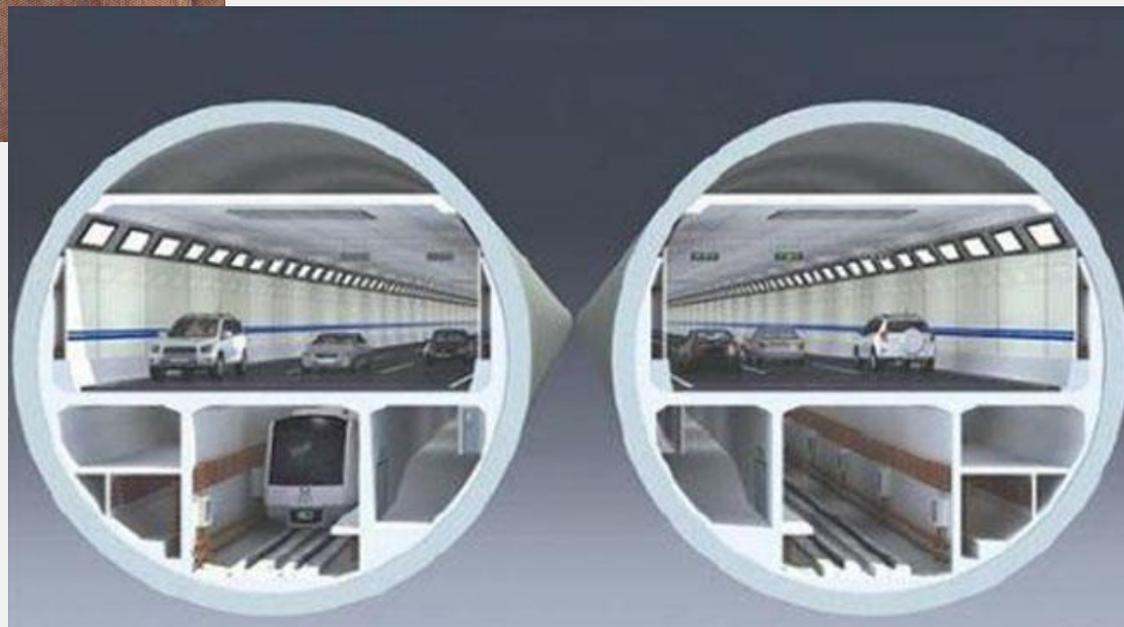
Túneles Mixtos viarios - ferroviarios



La doble función permite aprovechar mejor la sección de excavación permitiendo aprovechar el volumen por debajo de la calzada.

Wu Han, CN

Silberwald, DE



Para la ejecución de las obras subterráneas se pueden utilizar métodos distintos

Método	Ventajas	Desventajas
Cut & cover	Bajo costo de ejecución, gran rapidez de construcción en caso de tener libre acceso en superficie y poder utilizar un gran número de equipos. Aplicable en cualquier tipo de geología. Cambios de rasante limitados en el caso del soterramiento de infraestructuras existentes.	Necesidad de larga y costosa relocalización de servicios durante la construcción. Grandes impactos y perturbaciones al tráfico en superficie. Aplicables sólo en terrenos sin edificios, normalmente calles, avenidas y plazas.
Minero	Económico y rápido en el caso de tener suficientes accesos. Libertad en definir la sección de excavación más conveniente y flexibilidad en la selección del equipo de excavación. Rapidez en pasar de un tipo de maquinaria de excavación a otra.	Aplicable solo en geologías favorables (roca y suelos competentes), sólo necesita de gran inversión en tratamientos del terreno en caso de ser necesarios. Vibraciones en roca y asientos en suelos. Problemas de seguridad del personal.
Túnelera	Muy buen control de la estabilidad del frente y control de asientos. Posibilidad de excavar minimizando riesgos por debajo de estructuras sensibles a asientos y vibraciones. Posibilidad de excavar con altas presiones de aguas y terrenos inestables. Seguridad para el personal de ejecución. Posibilidad de excavar con seguridad en caso de presencia de gases nocivos. Rapidez en la ejecución del túnel en un solo paso.	Sección transversal circular obligatoria. Alta inversión inicial que es difícil de justificar en tramos cortos. Poca flexibilidad para adaptarse a condiciones de terreno muy diferentes de largo de un mismo trazado. Largos tiempos de instalación de las infraestructuras de lanzamiento y explotación.

No es infrecuente, mas bien bastante normal, que en un mismo proyecto

se mencionen los métodos para adaptarse mejor las diversas cond

o se llegue a utilizar una combinación de los métodos de excavaciones presentes a lo largo de la traza.

Alargo plazo, la inversión en estructuras subterráneas para la movilidad siempre resulta ser mejor opción aunque inicialmente sea más cara. En particular, obras de viabilidad construidas en el pasado con infraestructuras en rasante o elevadas son ahora reemplazadas por obras subterráneas permitiendo recuperar la superficie para un mejor aprovechamiento urbano.

Este concepto es, como más adelante apreciaremos, totalmente válido en la actualidad, donde obras de transporte ferroviario mixtas actualmente en construcción (subterráneo, en superficie, aéreas) a largo plazo podrán resultar barreras urbanas.

Obviamente prever estos desarrollos no es sencillo y se necesitan estudios detallados ante la gran diferencia de inversión que puede suponer una solución u otra.



Soterramiento Estructuras
existentes
Plaça Glories, Barcelona

Un distribuidor elevado de los años '80
está siendo reemplazado por una obra
en subterráneo.





Soterramiento Estructuras
existentes
Alaska Viaduct, Seattle

Taking back the waterfront

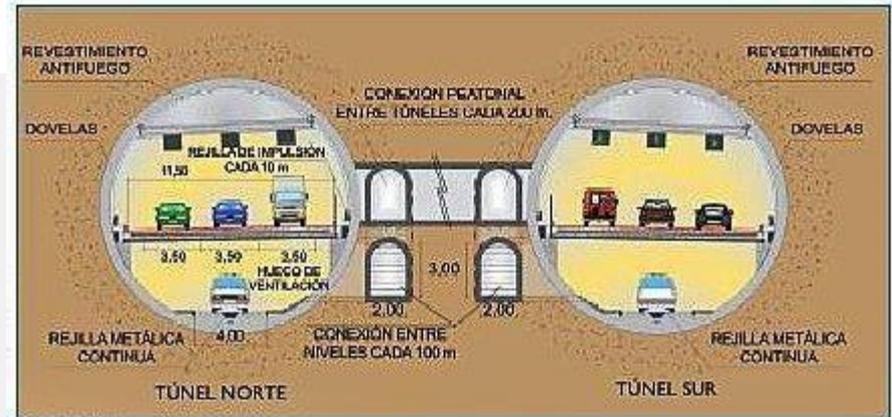




Madrid Calle 30 «By-pass Sur»

- Una de las mayores obras de ingeniería y transformación urbana llevada a cabo en Europa recientemente.
- Tráfico de 260.000 vehículos diarios en ambos sentidos.
- Trazado en superficie recuperado para trayectos de la zona.
- Reducción del tráfico en superficie en 80.000 vehículos/día
- Recorrido acortado en 1'5 km = 120.000 km menos recorridos al día

- Túneles gemelos unidireccionales paralelos de 4'2 km long.
- Uso de las tuneladoras (2) más grandes del mundo en la fecha: 15'20 m diámetro



Sección del bypass sur:

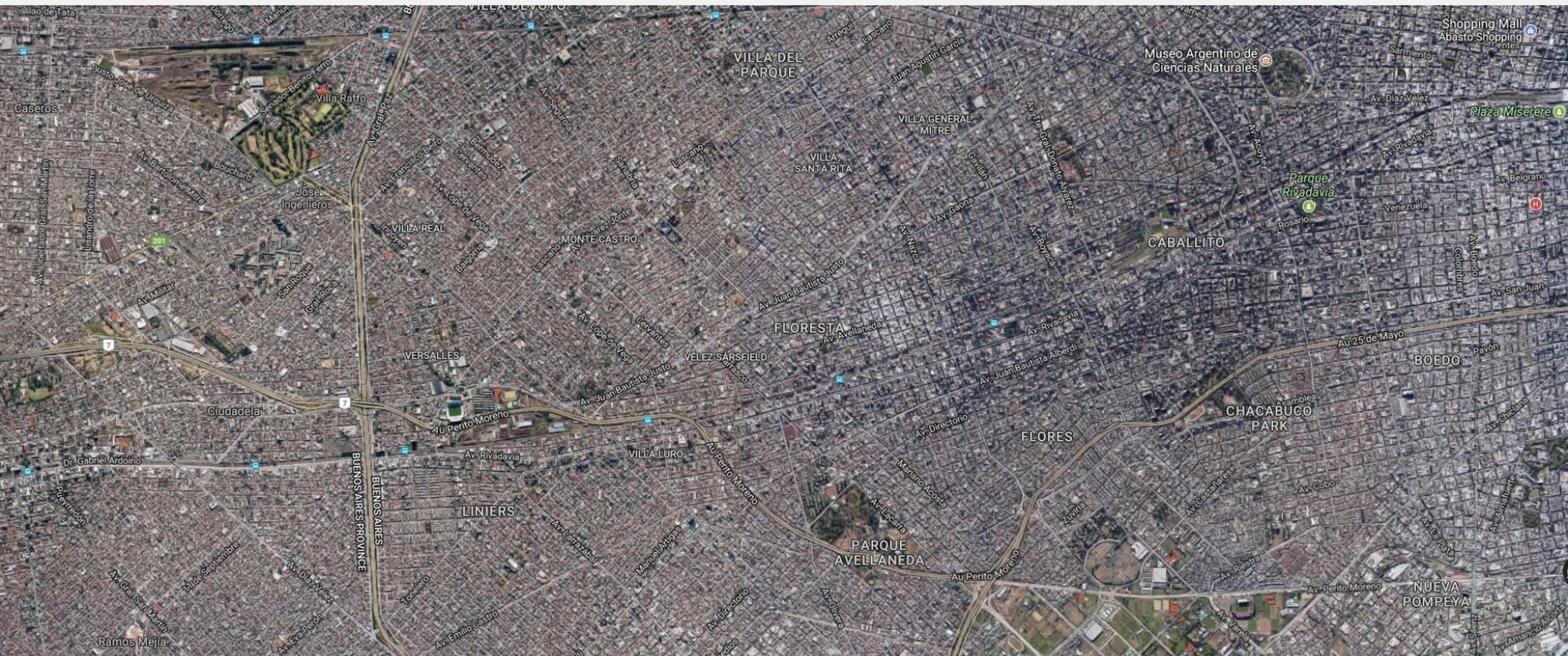


Madrid Calle 30

- Reducción de la contaminación
- Recuperación para el ciudadano de espacios de valor arquitectónico y medioambiental
- Potenciación de la integración urbana



El mismo soterramiento del Ferrocarril Sarmiento está volcado a recuperar áreas en superficie y "liberar" la ciudad de una barrera física importante:



Ejecución de obra



En la actualidad, la mayoría de las obras subterráneas en ambiente urbano fueron concebidas para solucionar problemas de movilidad existentes, es decir, descongestionar las calles en superficie o líneas existentes.

Pero existen algunos casos en los que las obras subterráneas están teniendo un papel muy importante como agentes de transformación de la geografía urbana, constituyendo ejes de desarrollo preferencial según la facilidad de transporte que suponen. O sea se "impone" el desarrollo facilitando el transporte a lo largo de un eje preferencial.

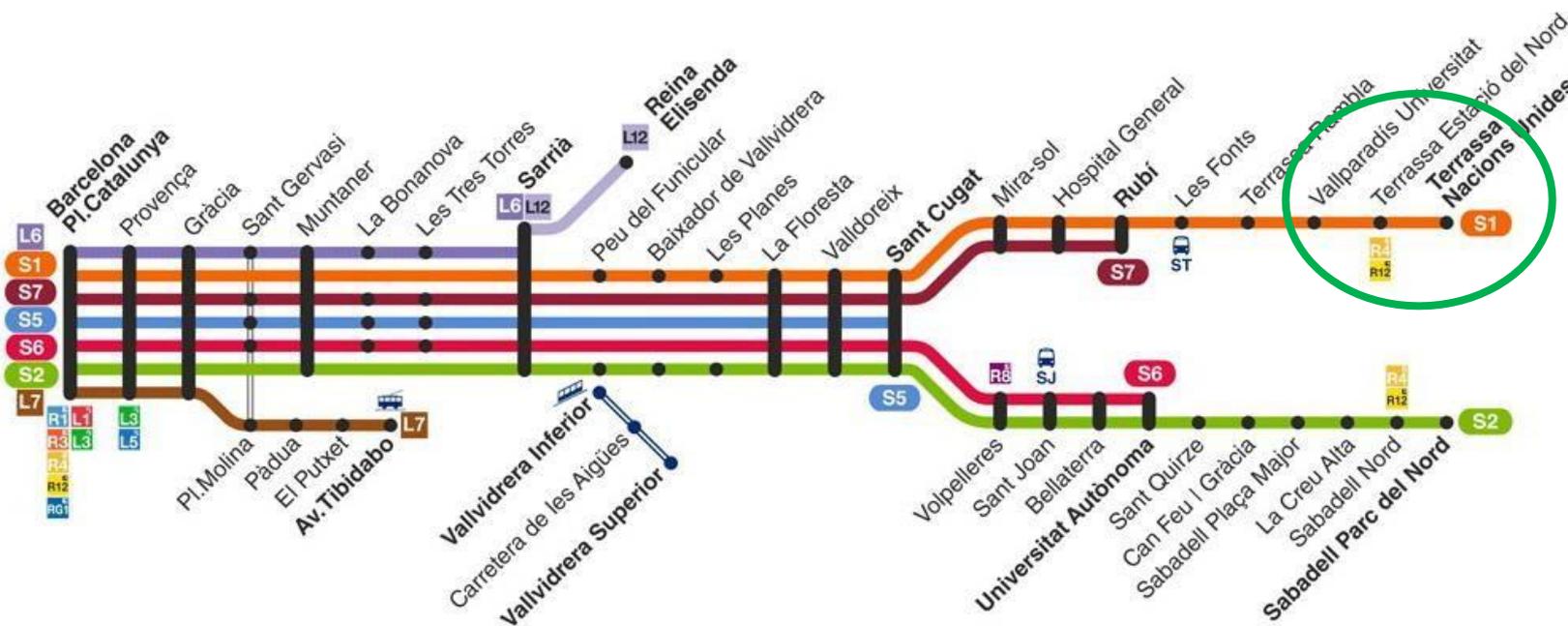
El transporte como medio de desarrollo urbano

El transporte constituye un elemento clave en una gran comunidad por cuanto condiciona el funcionamiento eficaz de la región y el bienestar de sus habitantes.

-La complejidad funcional de toda gran región metropolitana se manifiesta en la estructura de los flujos de personas y mercancías que discurren y se canalizan por su red de transporte.

-La eficiencia de una región como sistema productivo y la calidad de vida de sus habitantes dependen del sistema de transporte que conectando unas áreas con otras atiende en condiciones adecuadas de tiempo y coste sus necesidades de movilidad.

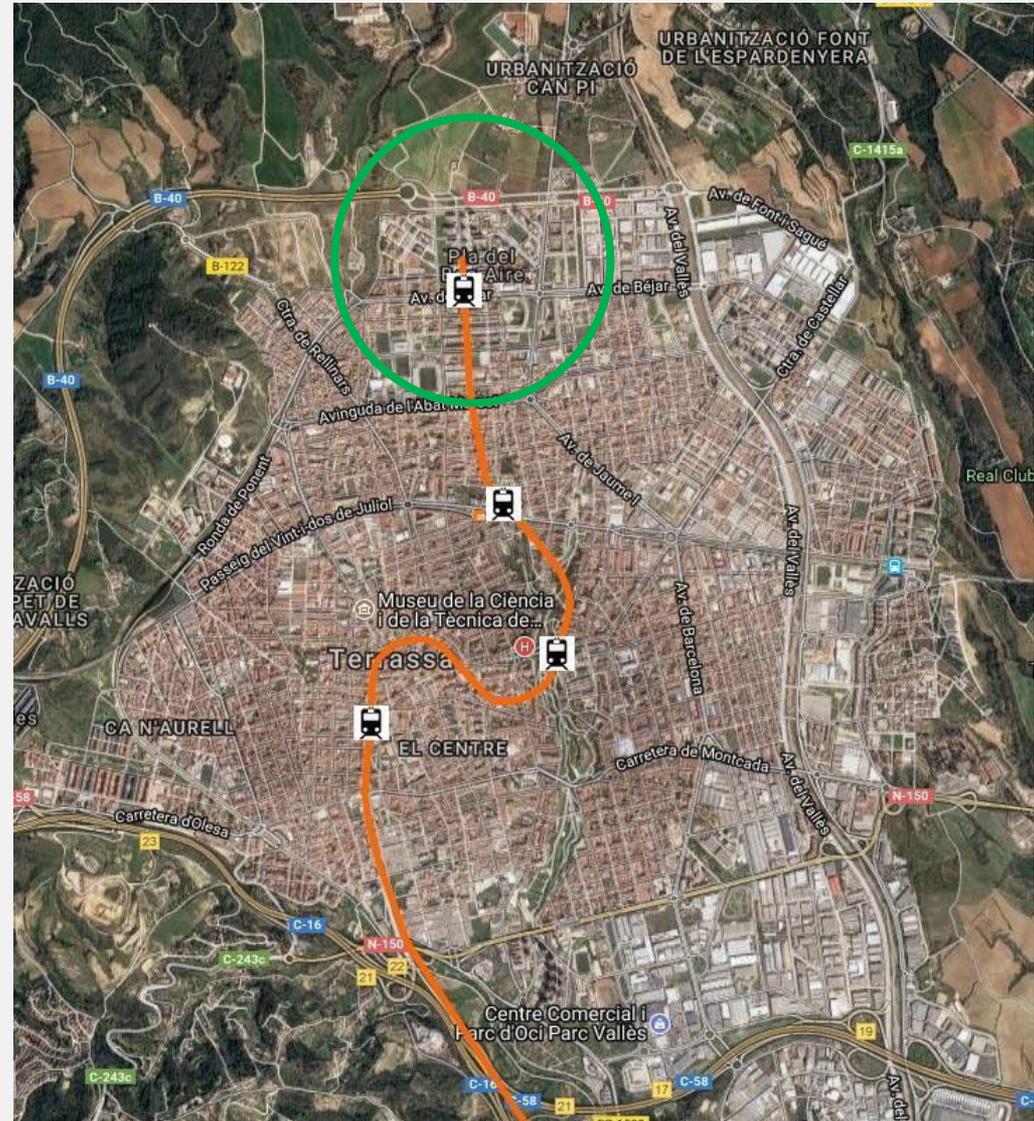
-Concienciación general de las soluciones subterráneas: El espacio subterráneo debe pasar a formar parte integral del urbanismo, de los procesos de planificación territorial y del uso habitual del suelo.



Prolongación FGC – S1 a Terrassa

Los ferrocarriles de la Generalitat de Barcelona conectan el centro de Barcelona con varias ciudades e importantes estructuras publicas.

La prolongación de una línea en Terrassa ha facilitado el desarrollo de una zona anteriormente con escasas posibilidades de transporte



Prolongación FGC – S1 a Terrassa

Secuencia 2002 – 2010 - 2017

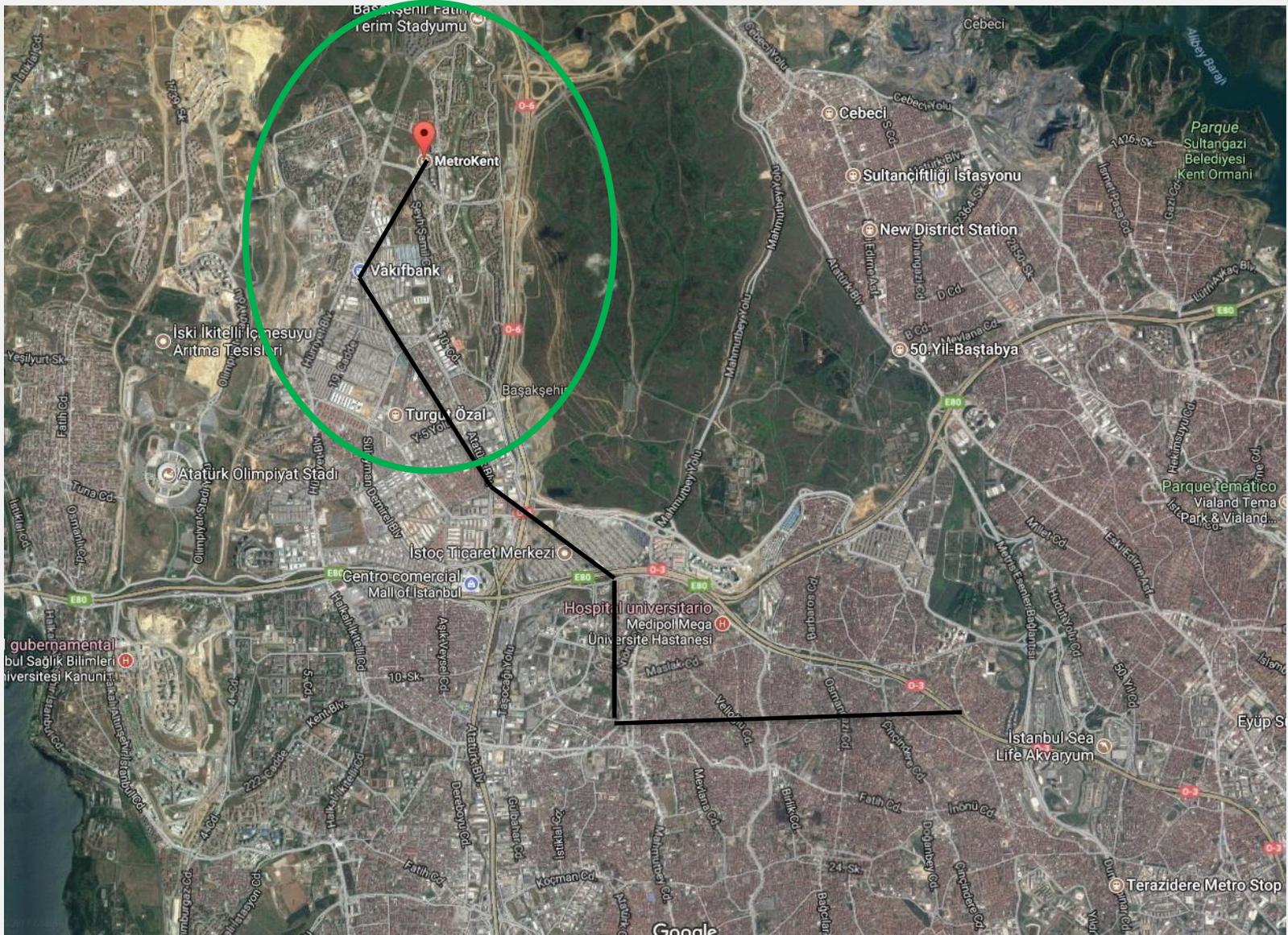


Istanbul Metro M3

Una nueva línea se construyó entre 2007 a 2001 para conectar áreas urbanas muy densas con una zona industrial, aprovechado para desarrollar un área urbana mas abierta y vivible

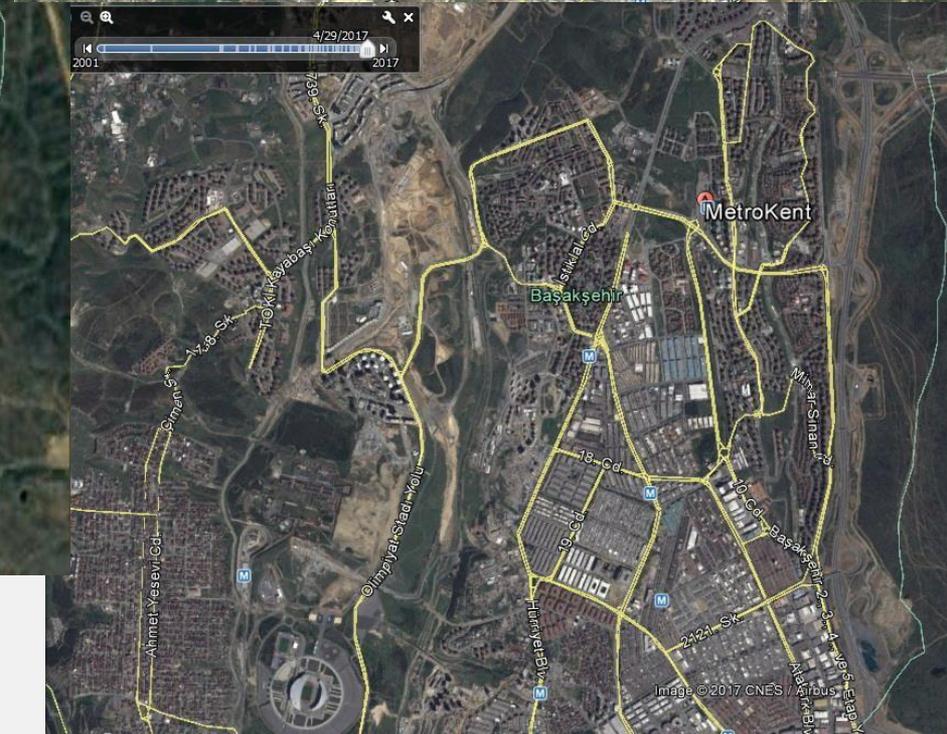
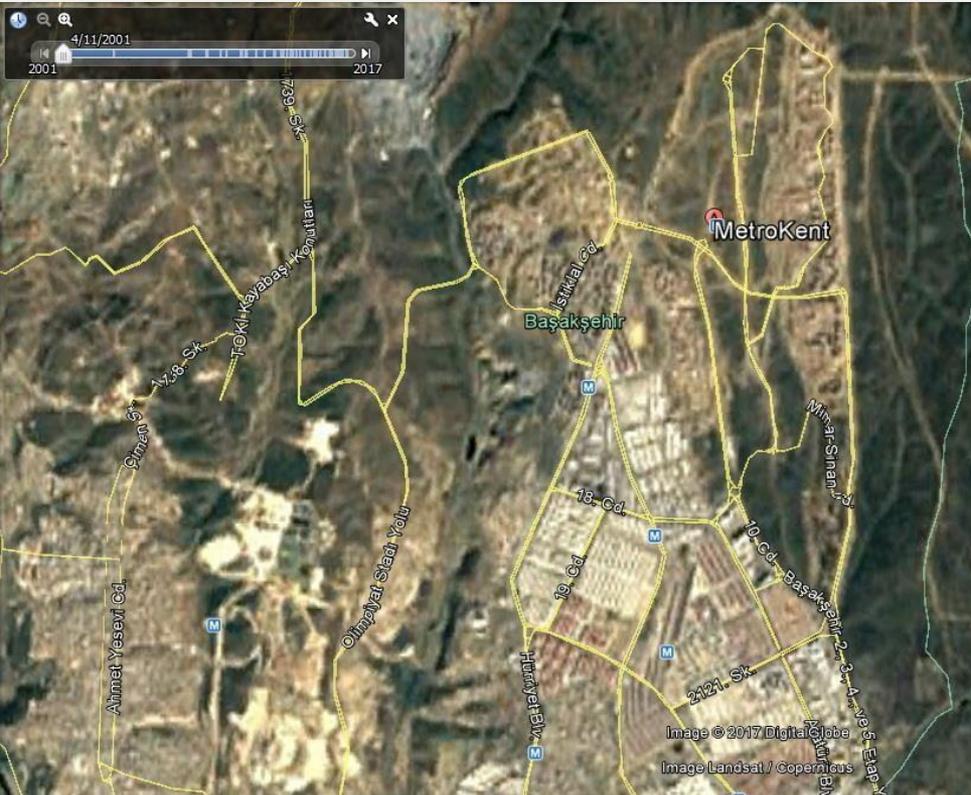


Istanbul Metro M3

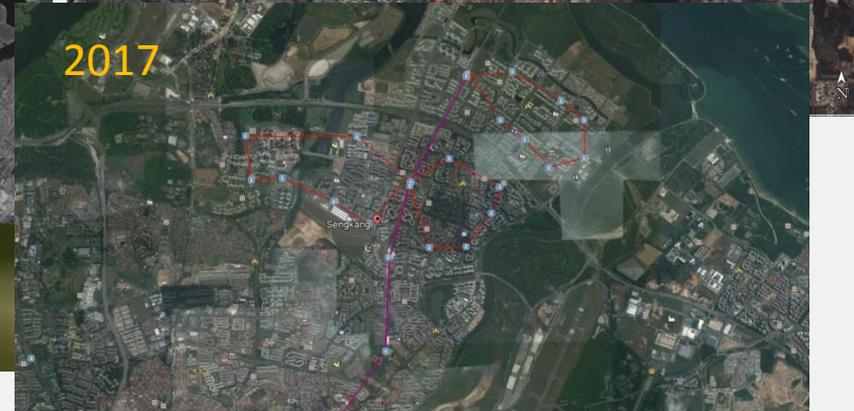


Istanbul Metro M3

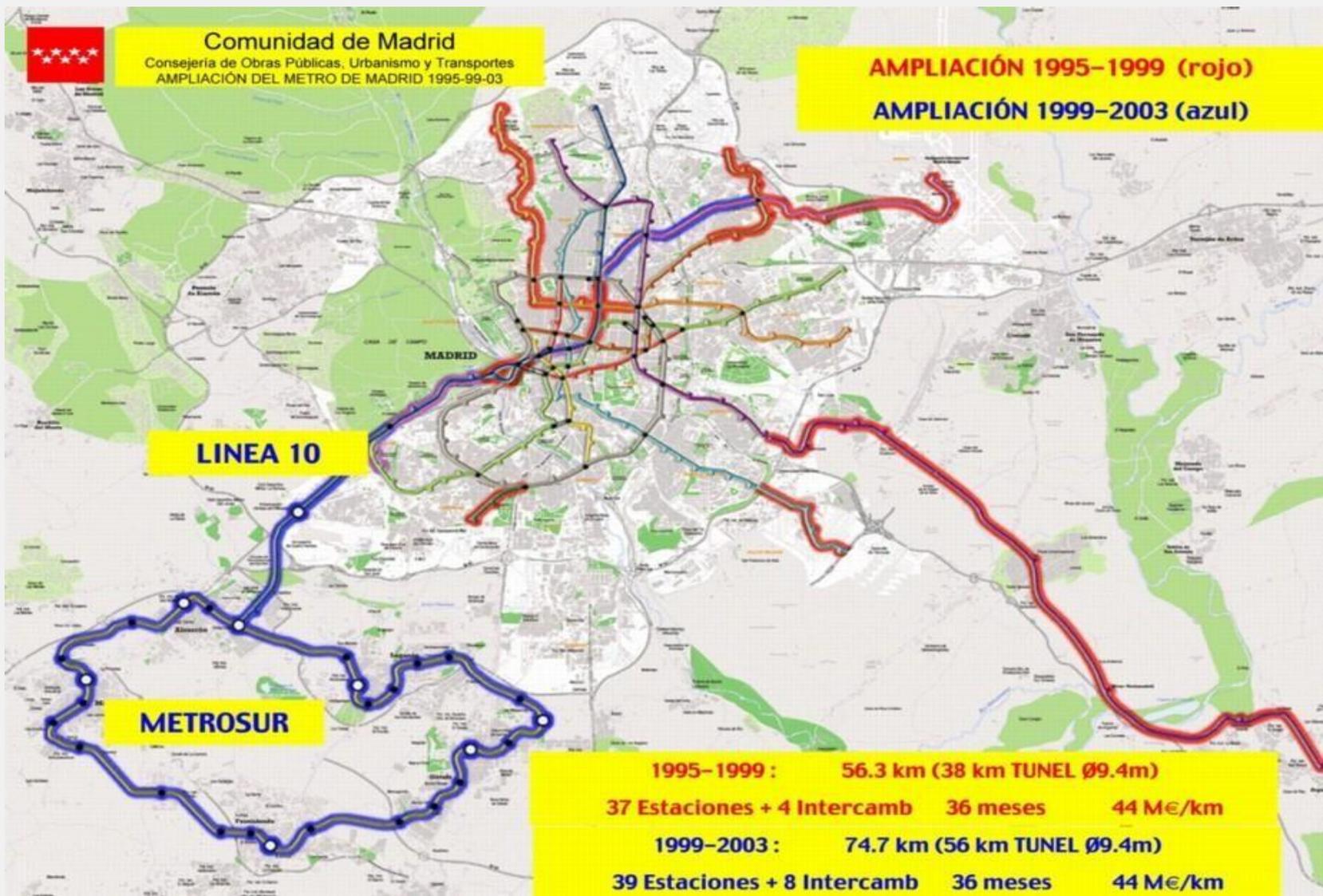
Entre las estaciones de Itoç y Metro Kent hubo un fuerte desarrollo urbano acompañado con la construcción de una línea de Metro



Prolongación L7 – LRT Circular Singapore



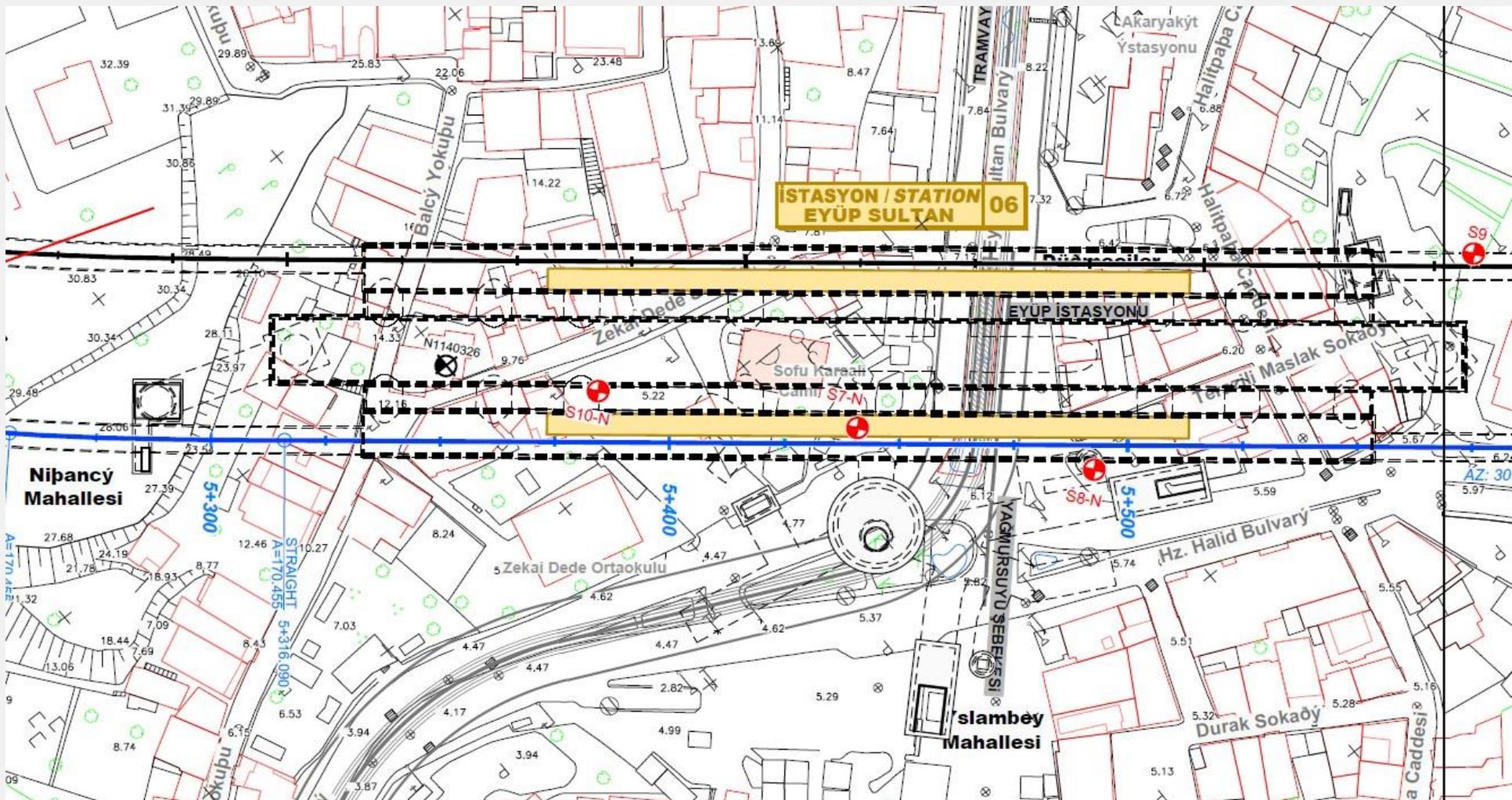
Metrosur y Metro Oeste de Metro Madrid



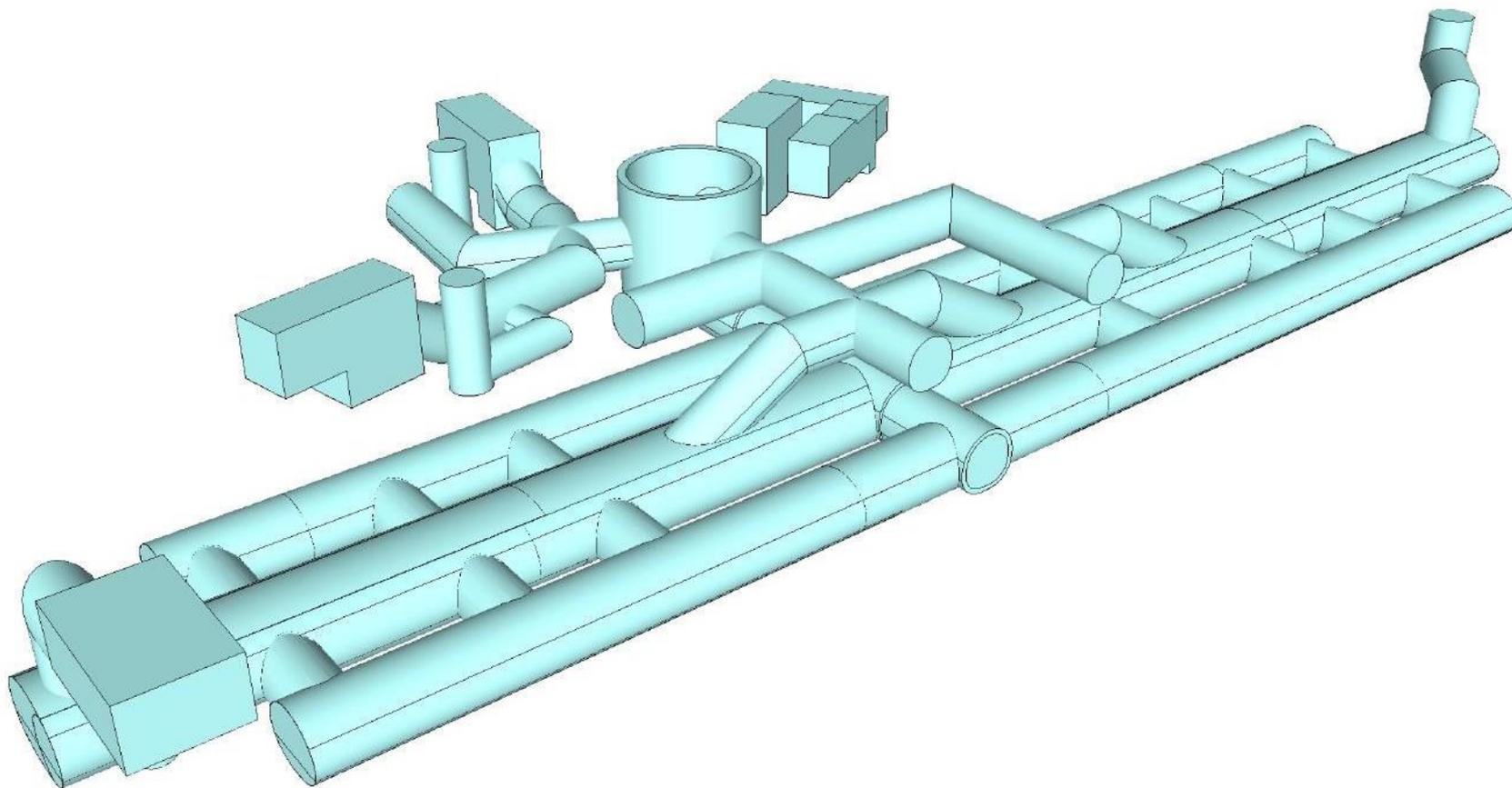
En entornos urbanos particularmente densos, la planificación de las obras debe tomar en cuenta no sólo las exigencias geométricas y de tráfico, sino también la geología existente para no llevar a soluciones extremas y complicadas que encarezcan demasiado el costo de la obra.

Por ejemplo, en metros, la exigencia de mantener las estaciones en mina a pesar de la geología presente lleva a veces a soluciones muy costosas que tal vez se pudieran evitar con una planificación más atenta.

Estación subterránea con espacios muy limitados en superficie, Istanbul



Estación subterránea con espacios muy limitados en superficie, Istanbul



A la hora de planificar una obra, es muy importante decidir el tipo de estructura a construir, ya que existen diferentes alternativas en función de muchos parámetros, que van desde la seguridad de explotación, la geología e incluso la legislación vigente en el país. En muchos casos es necesario implementar nuevas leyes para hacer los proyectos económicamente viables, eficientes y seguros.

Por lo general, se tienen las siguientes opciones, aunque pueden haber otras adicionales en casos específicos:

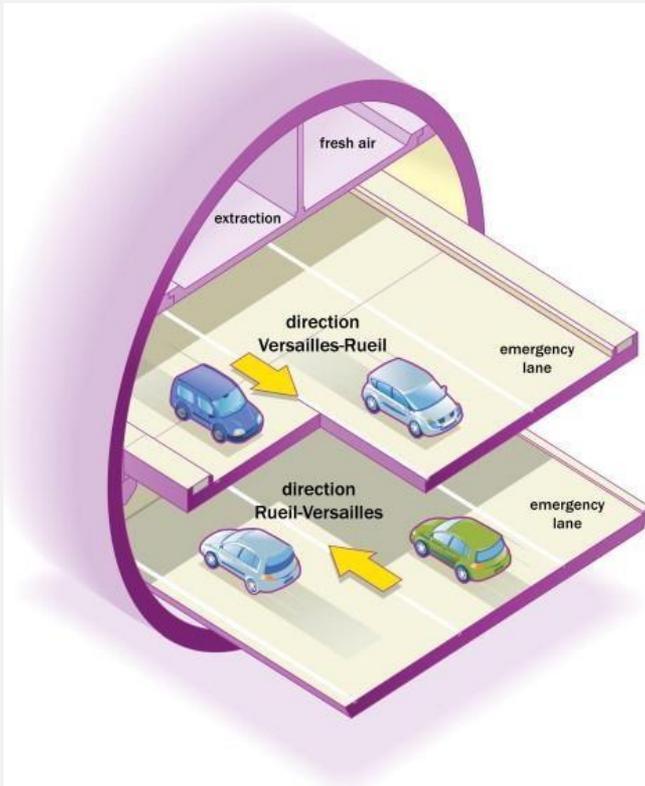
Túneles carreteros: bitubo o monotubo

Estaciones subterráneas: cut & cover o cielo abierto

Túneles ferroviarios: bitubo o monotubo

Túneles carreteros: Bitubo o monotubo

Túnel bitubo	Túnel monotubo
<p>Intrínsecamente más seguro, apto para cualquier tipo de vehículos: livianos y de carga. Solución obligada para más de dos carriles por dirección por ser la sección demasiado grande para un túnel único.</p>	<p>Generalmente solo para vehículos livianos. Posibilidad de carriles reversibles en casos de dirección de tráfico "time dependent".</p>
<p>Más costoso, requiere áreas de emboquiles grandes con distribuidores de tráfico, difícil de implementar en área urbana.</p>	<p>En el caso de túnel con túnel adorado se aprovecha mejor la sección de excavación.</p>
<p>Más fácil de operar.</p>	<p>Solución económica para activar el tráfico en superficie en horas punta.</p>
<p>Apto para carreteras de calzadas separadas, en particular modo autopista.</p>	<p>Más apto para conjuntos urbanos con menor impacto en la superficie.</p>

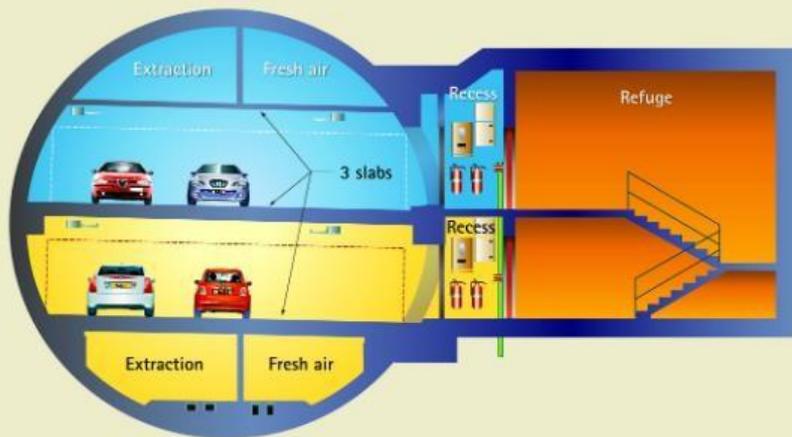


El soterramiento de la A86 en París fue uno de los primeros ejemplos de túneles con carriles sobrepuestos

Túnel carretero Montauban Solución Socatop



Túnel carretero Montutubo Solución Socatop

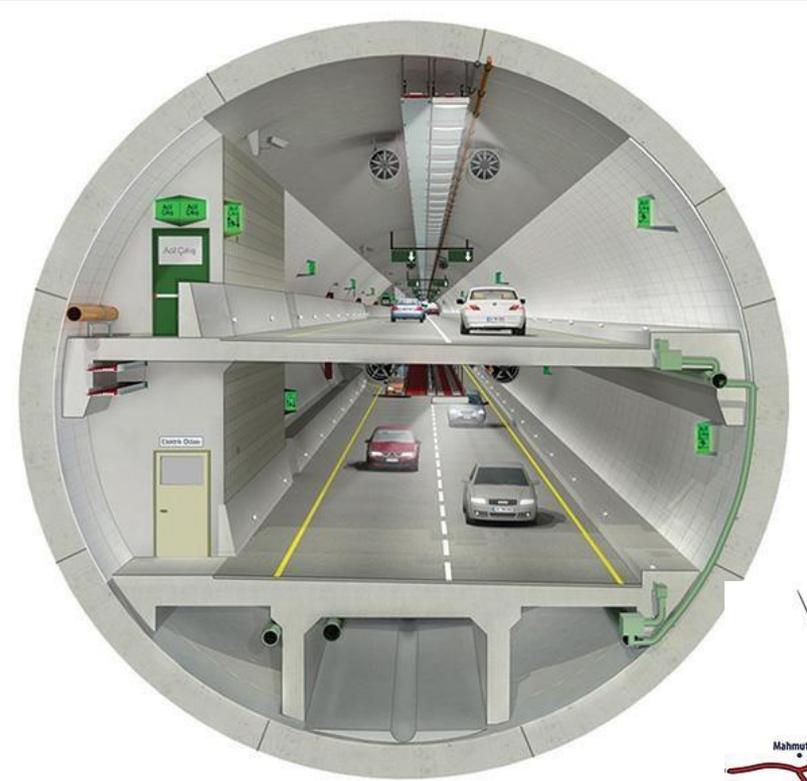


Salida de emergencia entre carriles

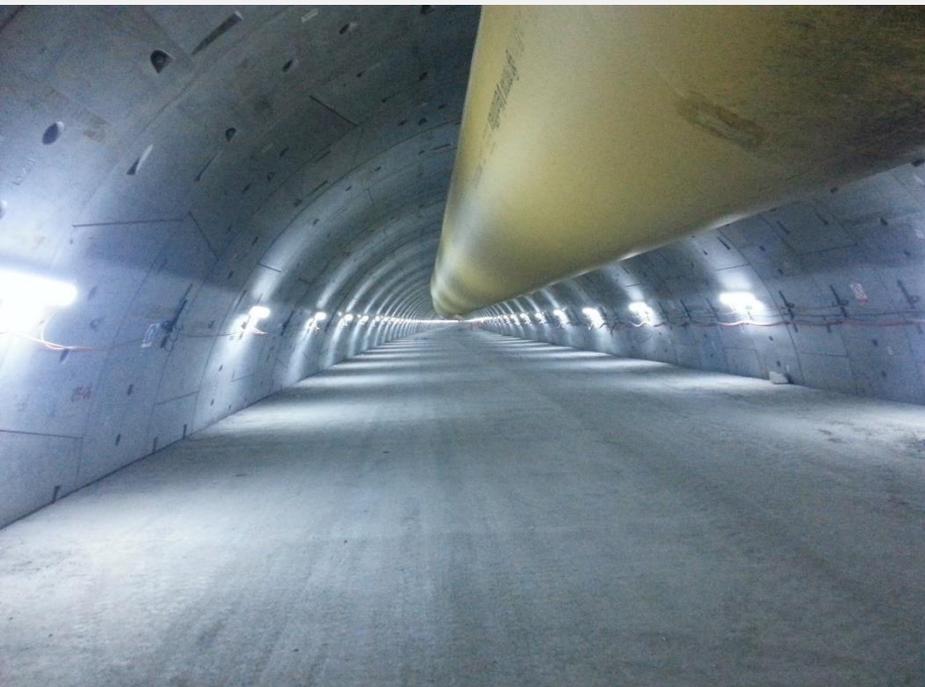


Construcción losa inferior

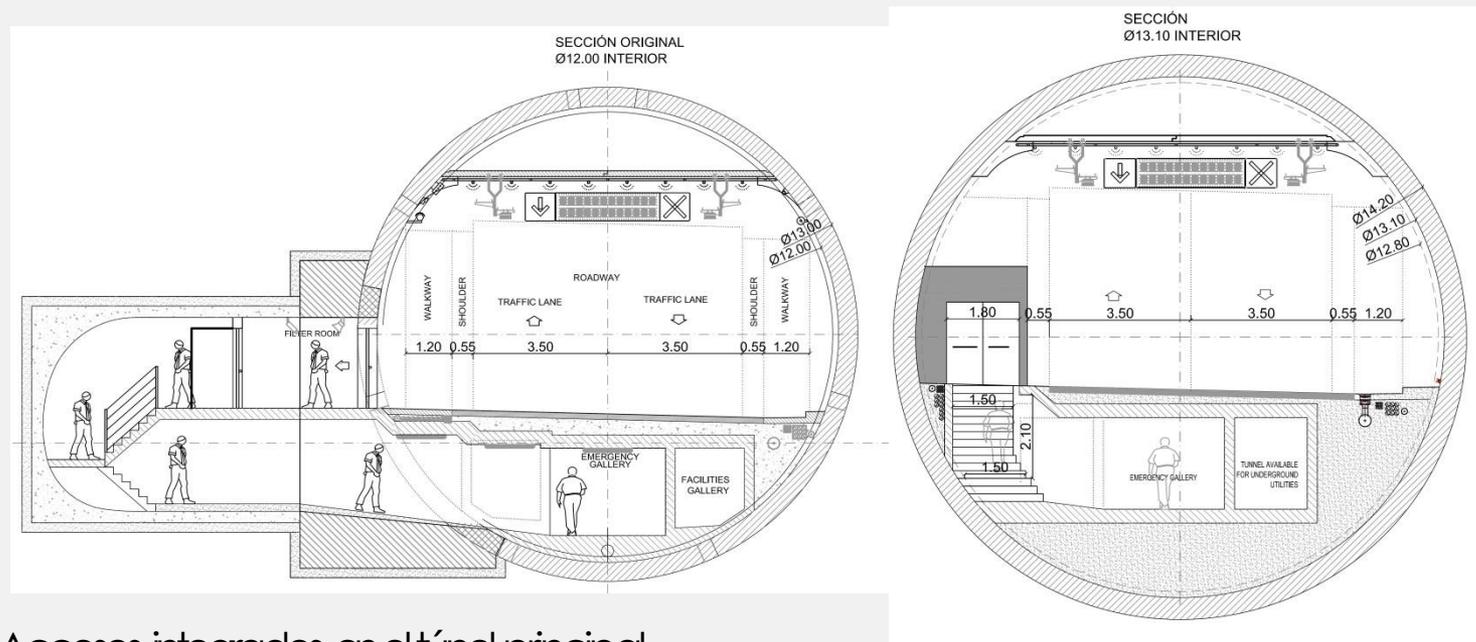
Túnel carretero Monotubo Solución Avrasya



Túnel carretero Monotubo Solución Avrasya



Túnel carretero Monotubo: Localización accesos túnel evacuación. Alternativas.



Accesos integrados en el túnel principal.

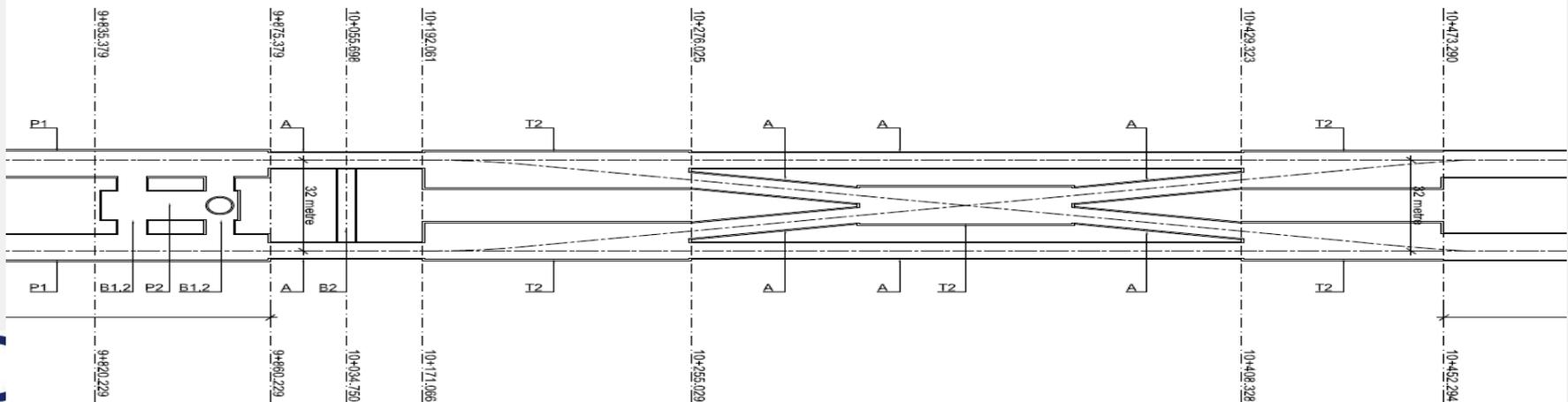
- Mayor tamaño de túnel (mayores costes)
- Eliminación de nichos de grandes dimensiones en exterior del túnel en condiciones difíciles
- Reducción drástica de riesgos durante la ejecución de los nichos y sus costes asociados
- Posibilidad de disminuir distancia entre accesos sin aumento significativo de coste

**El estudio exhaustivo de las condiciones particulares
de cada proyecto definirán en cada caso la solución óptima**

Túneles ferrocarrileros: Bitubo o monotubo

Túnel bitubo	Túnel Monotubo
Más seguro, normalmente adaptados para túneles de alta velocidad y líneas de carga.	Se insertan mejor en líneas ferroviarias existentes, usualmente de plataforma única.
Explotación más rígida.	Mayor versatilidad de operación, sobre todo en colocación de crossover. Operación más similar a una línea "normal".
Estación con andén central, preferidas por algunos explotadores / operadores, típicamente ferrocarriles urbanos o metro.	Estaciones con andenes laterales, más típicas de sistemas ferroviarios
Sección más reducida, más superficial, estaciones menos profundas, mayores velocidades de circulación,	Se aprovecha mejor la sección.

Crossover monotubo vs bitubo





Solución monotubo alta velocidad

La solución adaptada en el túnel ferroviario del Groene Hart en Holanda con túnel único ha sido separar las dos vías por medio de un muro de concreto que divide la sección en dos en sentido vertical.



Estaciones subterráneas: Cut & cover o underground

Cut & cover	Subterráneas
Necesidad de espacio en superficie para toda la planta de la estación.	Mínima impronta en superficie; solo necesidad de accesos peatonales. Accesos de construcción limitados. Lentas de construir.
Asientos mejor controlados con excavación entre pantallas / pilotes con puntales / anclajes .	Necesidad de contar con una geología apta y favorable.
Geometría en planta fácilmente ajustable.	Para túneles bitubos se pueden estudiar soluciones geométricamente reducidas (ver ejemplos), en el caso de túneles monotubos se necesitan superficies de excavación muy grandes.
Son siempre posibles soluciones mixtas, donde una parte de la estación es cielo abierto (usualmente los accesos) y otras en subterráneo. (Sofía L3, S8; Sao Paulo, Istanbul)	

Ejemplo estaciones cut & cover



Metro Istanbul

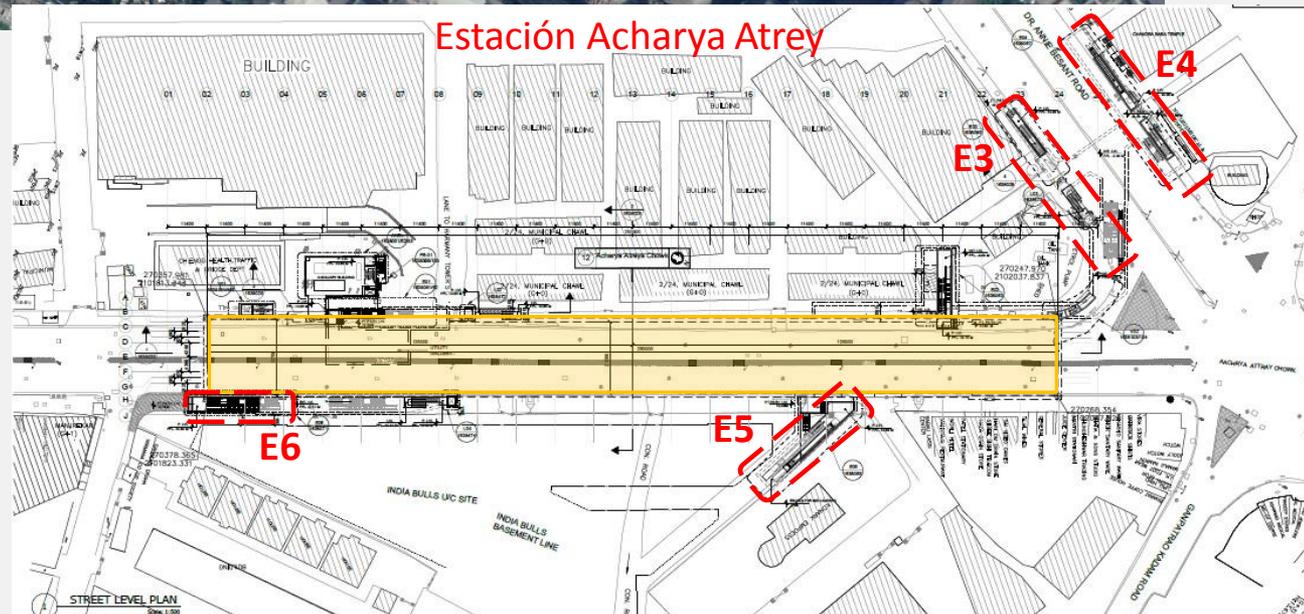
Singapore North East line



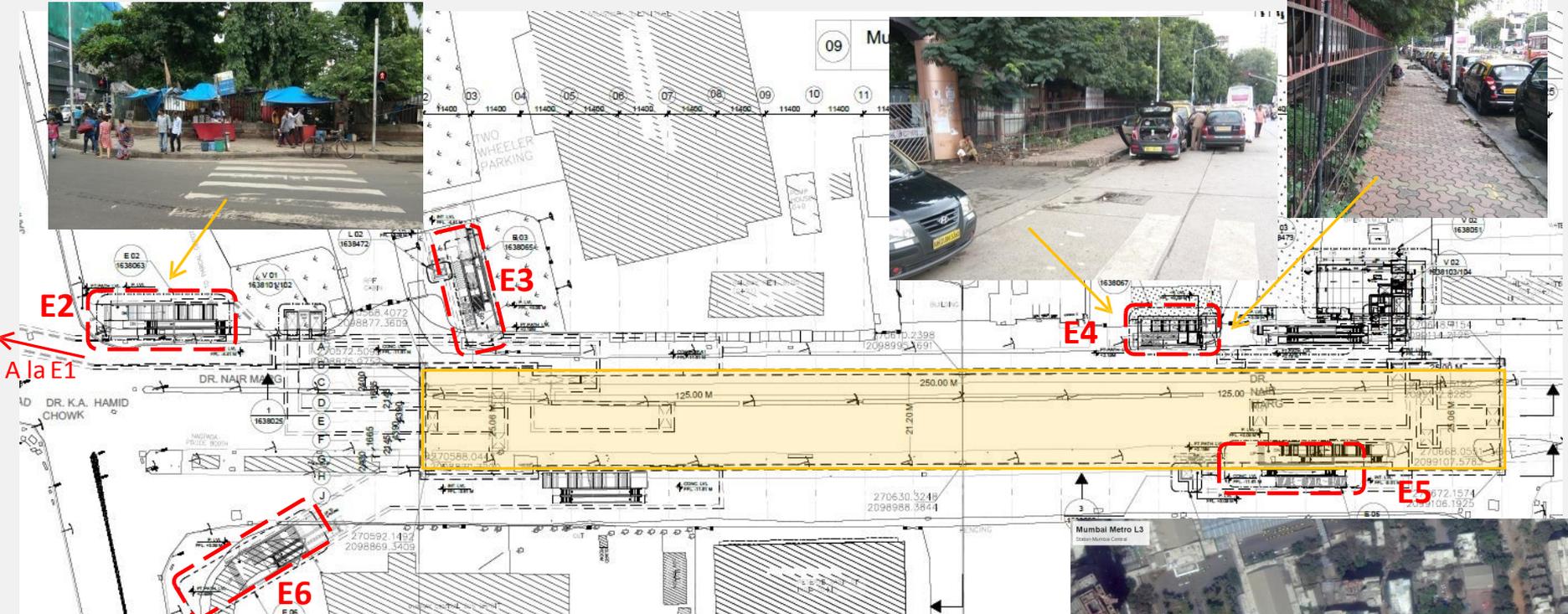
Estación «cut & cover» disponibilidad superficial limitada, Metro Mumbai L3



- Acharya Atray St.: 230 metros de longitud.
- Las entradas E3 y E4 ocupan toda la acera; la E5 se encaja «como se puede».

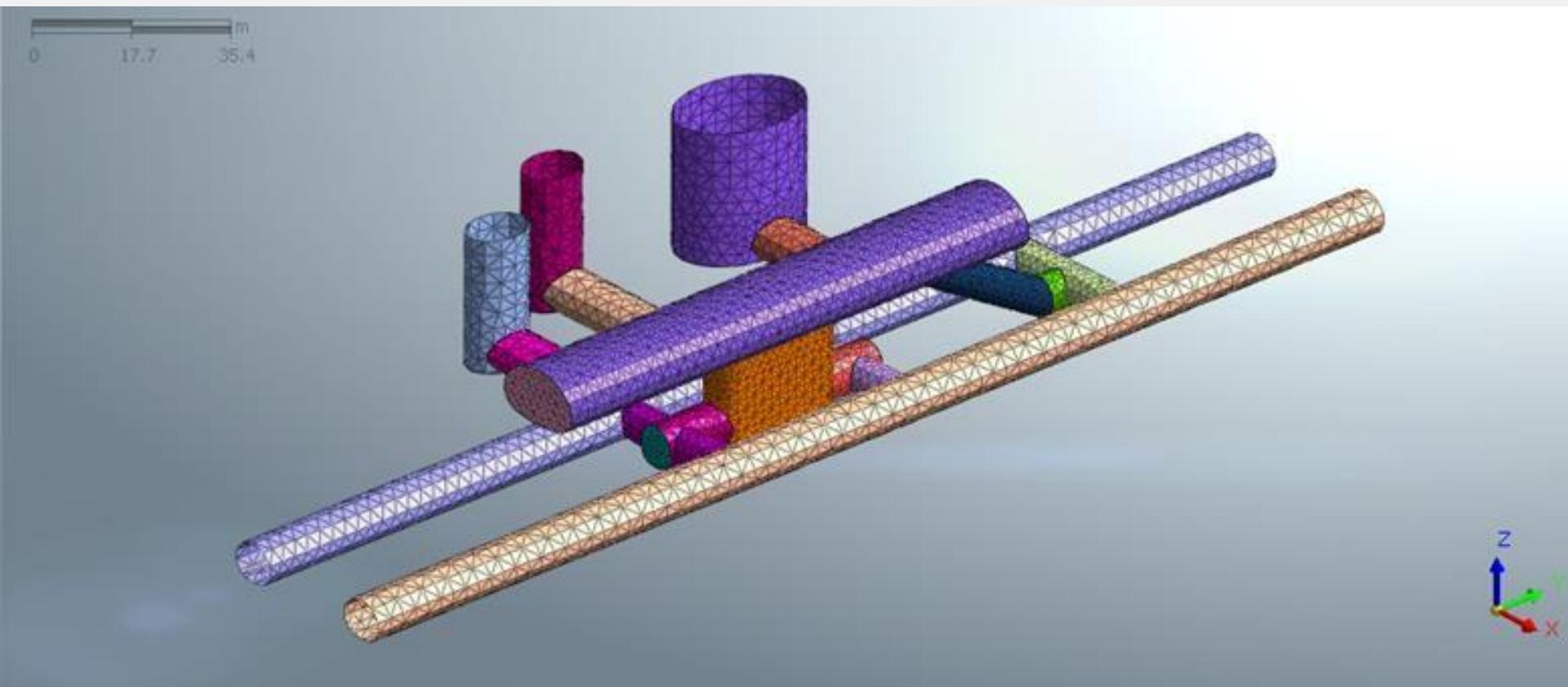


Estación «cut & cover» espacio limitado, Metro Mumbai L3



Estación Mumbai Central
(250 metros longitud)
Entradas «como se puede»

Ejemplo estación Subterránea para túneles bitubo (Istanbul)



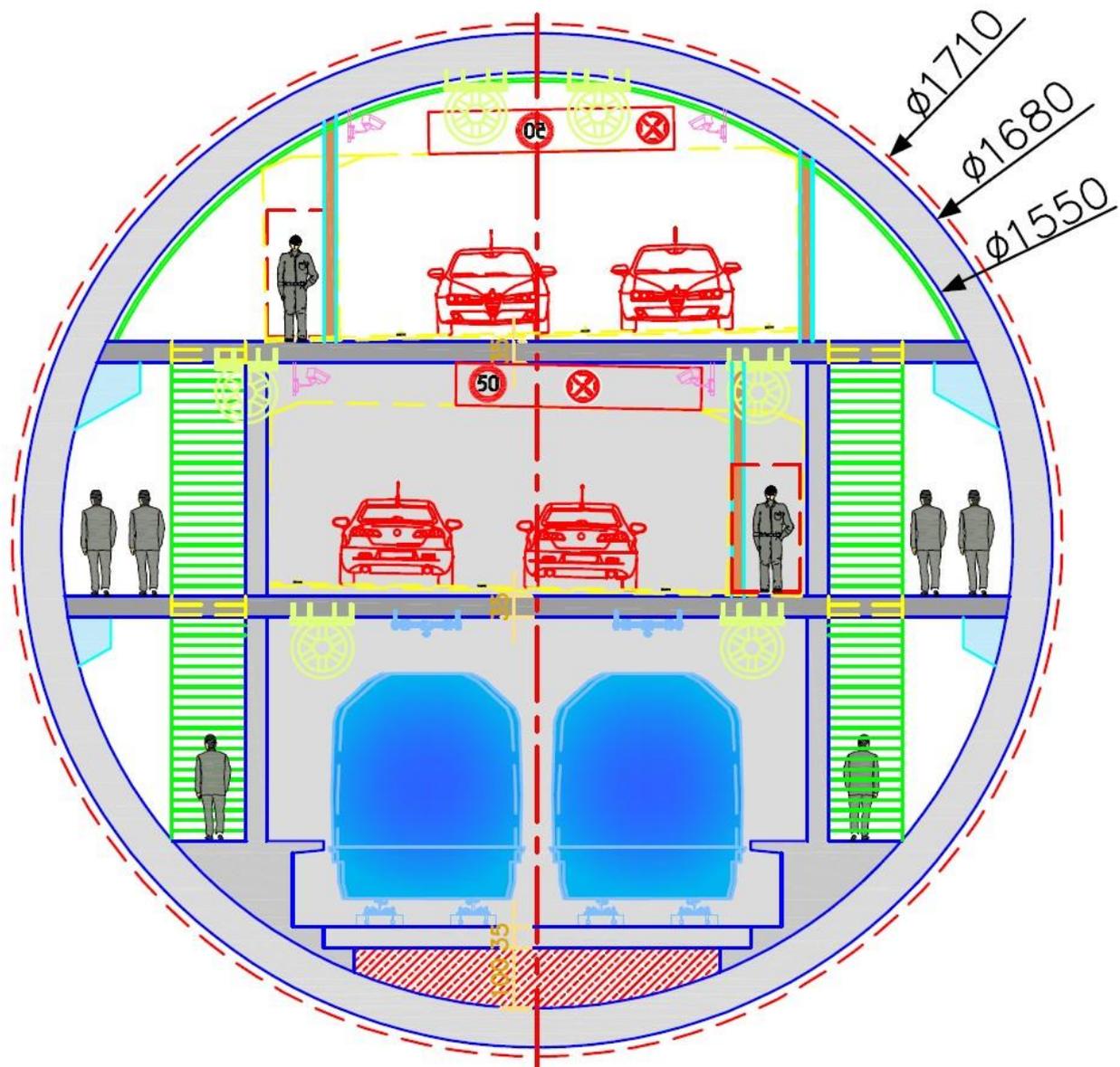
Ejemplo estación Subterránea para túneles bitubo (Istanbul)



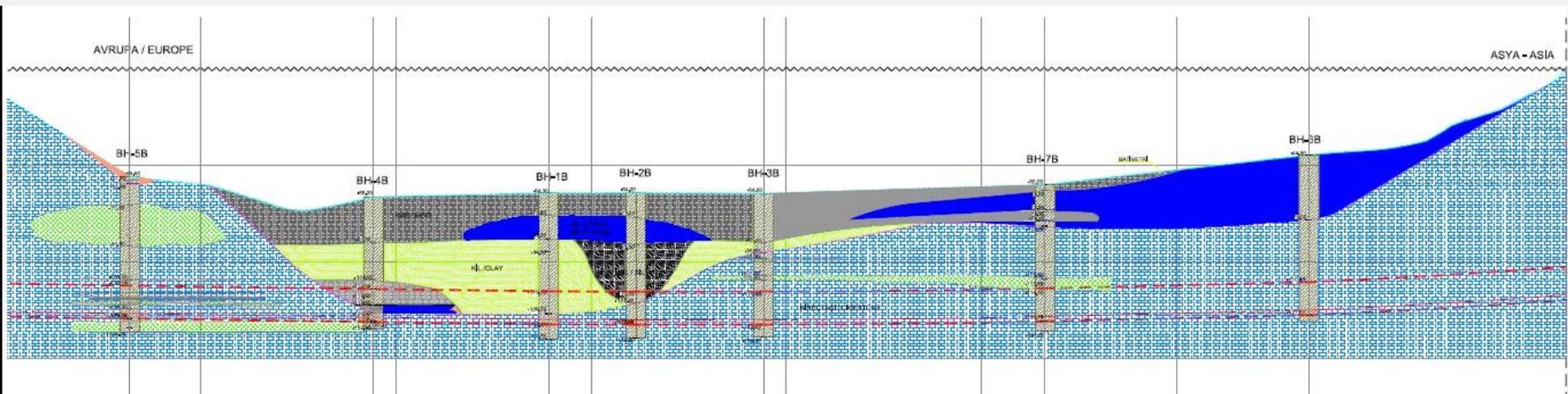
Las obras subterráneas de transporte han nacido para superar barreras naturales, y esto sigue siendo uno de sus mayores desafíos.



Por lo cual ya están pensando en una solución de este tipo, con el metro en la parte baja y dos carriles por cada sentido en los niveles superiores.



La geología a nivel del trazado es de rocas calizas y depósitos marinos en correspondencia de la parte más profunda del estrecho del Bósforo



Se está ahora estudiando la mejor tecnología para su ejecución

NOS VEMOS EN **NAPOLI**



[ABOUT](#)

[WHY ATTEND](#)

[CONFERENCE](#)

[SPONSORS & EXHIBITORS](#)

[ACCOMMODATION & TOURS](#)

[REGISTER](#)

WTC2019

**Tunnels and Underground Cities:
Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art**



602 / DAYS

06 / HOURS

15 / MINUTES

Main Topic

