

---

**TÚNELES**

**ANEJO**

**11**

---

**ÍNDICE**


---

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>	<b>9. Instrumentación y control.....</b>	<b>20</b>
<b>2. Sección tipo del túnel bajo la A-1 .....</b>	<b>1</b>	<b>10. Seguridad en túneles .....</b>	<b>21</b>
2.1. Condicionantes funcionales y geométricos.....	1		
2.2. Condicionantes geotécnicos y constructivos .....	2		
2.3. Condicionantes externos.....	2		
2.4. Definición de la sección.....	5		
<b>3. Características geotécnicas del terreno .....</b>	<b>5</b>		
3.1. Unidades geotécnicas .....	5		
3.1.1. Rellenos antrópicos compactados (Rxc) .....	5		
3.1.2. Arena de miga (A <sub>M</sub> ) .....	6		
3.1.3. Arena tosquiza (A <sub>T</sub> ).....	6		
3.1.4. Tosco arenoso (T <sub>A</sub> ) .....	6		
3.1.5. Tosco (T) .....	6		
3.2. Niveles de agua .....	6		
3.3. Agresividad.....	7		
<b>4. Método de ejecución.....</b>	<b>7</b>		
4.1. Análisis del método de ejecución .....	7		
4.2. Excavación en mina mediante Método Belga .....	8		
4.3. Fases de excavación y descripción general del método .....	9		
4.4. Adecuación del método de ejecución a la sección del túnel .....	10		
<b>5. Revestimiento .....</b>	<b>11</b>		
<b>6. Tratamientos de mejora del terreno.....</b>	<b>11</b>		
6.1. Jet grouting .....	12		
6.2. Inyecciones con tubo-manguito.....	14		
6.3. Inyecciones de compensación.....	14		
6.3.1. Fases de ejecución.....	15		
6.3.2. Área de compensación.....	16		
6.3.3. Inyección para acondicionamiento (Pretratamiento) .....	16		
6.3.4. Inyección de compensación .....	16		
6.4. Planteamiento de los posibles tratamientos .....	17		
<b>7. Emboquilles .....</b>	<b>19</b>		
<b>8. Impermeabilización y drenaje .....</b>	<b>20</b>		

## 1. Introducción

En este documento se analiza el túnel en mina situado entre los PPKK 1+070 y 1+153 del trazado ferroviario diseñado para el paso bajo la A-1. Este túnel tiene una longitud aproximada de 85 m y se ve complementado con dos tramos de falso túnel, siendo el tramo inicial de 65 m y el tramo final de 120 m. El diseño del falso túnel anterior y posterior al túnel bajo la A-1 se analiza en el Anejo de Estructuras.

En los apartados siguientes se justifica desde un punto de vista funcional la sección tipo del túnel, incluyéndose igualmente una descripción conceptual del procedimiento constructivo que se considera necesario para materializar dicha infraestructura de acuerdo con los condicionantes de la obra. Complementariamente se describen los tratamientos de mejora del terreno, los emboquilles, sistema de impermeabilización y drenaje y una estimación de los elementos de auscultación y control para asegurar la correcta ejecución del túnel y la integridad de los elementos próximos, habida cuenta que éste cruza bajo la autovía A-1 y se encuentra muy próximo a dos vías ferroviarias en servicio.

Finalmente, se recogen los requerimientos de seguridad a tener en cuenta en el túnel según la normativa vigente.

## 2. Sección tipo del túnel bajo la A-1

Los túneles son obras de elevado coste por lo que en fase de proyecto deberá estudiarse en detalle la optimización de su funcionalidad para tratar de minimizar los costes de la inversión. Será necesario realizar una definición geométrica de la sección tipo del túnel que permita al túnel desempeñar la función para la que es proyectado, tanto a corto como a largo plazo.

En la definición de las secciones tipo de los túneles ferroviarios se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Condicionantes aerodinámicos:** en el caso que nos atañe, debido a la baja velocidad de circulación en esta zona, no es necesario realizar un estudio de la sección por factores aerodinámicos, los cuales se imponen para velocidades iguales o superiores a 200 km/h (Artículo 4.2.10.1 ETI de Infraestructura - Reglamento nº1299/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014, relativo a las especificaciones técnicas de

interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea).

- **Condicionantes funcionales y geométricos:** la sección tipo deberá proveer espacio para la circulación de los trenes. Así mismo, deberá haber espacio para disponer las instalaciones de explotación y seguridad necesarias.
- **Condicionantes geotécnicos y constructivos:** las características geotécnicas de la zona determinan fundamentalmente el método constructivo a utilizar, y en ocasiones la forma de la sección, sobre todo cuando existen tensiones residuales importantes en el terreno. A su vez, el método constructivo puede condicionar el tamaño, y sobre todo la forma de la sección, así como los espesores necesarios de sostenimiento y revestimiento.
- **Condicionantes externos:** en la determinación del método de ejecución más apropiado de un túnel pueden existir otros condicionantes externos a la propia obra subterránea, como son las estructuras, vías, edificios, etc. próximas a la obra que pudieran verse afectadas por su ejecución. En el caso en estudio se cruza bajo la autovía A-1 y existen en la actualidad dos líneas ferroviarias en servicio, que circulan paralelas al túnel, a distinto nivel y muy próximas al mismo. El método de construcción debe permitir que se minimice o evite la afección a todas las infraestructuras próximas a la obra subterránea en estudio.

En los siguientes apartados, se exponen los distintos condicionantes y el modo en el que influyen en la definición de la sección tipo del túnel.

### 2.1. Condicionantes funcionales y geométricos

En el túnel definido la plataforma ferroviaria debe permitir albergar una vía y se han diseñado aceras en ambos hastiales, de modo que existan pasillos de evacuación de 0,80 m de ancho por 2,25 m de alto. Las necesidades verticales de altura vienen condicionadas por los siguientes elementos: altura de plataforma, vía y traviesas para armamento de vía, gálibo cinemático y de obstáculos, catenaria, y espacio para instalaciones de seguridad y explotación.

El peralte de la vía definido en el túnel es de 55 mm a lo largo de toda su longitud.

Se ha considerado un gálibo uniforme GC para definir la sección libre del túnel, lo que ha determinado una distancia del eje del túnel al borde de las aceras de 2,16 m.

El ancho de las aceras desde su borde al intradós de revestimiento es de 0,95 m, lo que permite garantizar los requerimientos de ancho definidos en la ETI para los pasillos de evacuación y la inclusión de los correspondientes elementos de drenaje e instalaciones en el interior del túnel. Con esto se obtiene una anchura interior total de 6,22 m.

## 2.2. Condicionantes geotécnicos y constructivos

La elección del método constructivo, que depende a su vez de los condicionantes geotécnicos, determina en buena medida la geometría de la sección tipo del túnel.

Esto ocurre especialmente en casos donde se utilicen máquinas tuneladoras, donde la sección será circular de radio único. En estos casos, se producen excavaciones bastante importantes por debajo de cota de rasante que no son útiles y deben rellenarse posteriormente con hormigones en masa.

En túneles ejecutados con métodos convencionales suele tenderse a una definición de la sección en forma de herradura, con bóveda curva de radio único o formada por varios radios que suele prolongarse hasta cota de carril, definiendo así una sección que tiende a circular a excepción de la zona baja, en la que se define una solera con contrabóveda (en terrenos de mala calidad) o plana (en rocas sanas, generalmente con un índice RMR mayor de 50). En ocasiones, y dependiendo del método concreto de ejecución, los hastiales en lugar de ser curvos son verticales.

En general, se tiende a una definición lo más circular posible de la sección tipo de un túnel, recurriéndose a otras geometrías únicamente cuando el terreno presenta tensiones residuales muy importantes. Así, cuando las tensiones horizontales en el terreno son considerablemente mayores que las verticales, se suele recurrir a secciones achatadas, con una luz mayor que la altura de la sección.

Dado que se trata de un túnel corto, excavado en suelos y con bajo recubrimiento, las posibilidades constructivas quedan limitadas al NATM o Método Belga, ambos combinados con tratamientos especiales del terreno que permitan evitar daños en la A-1.

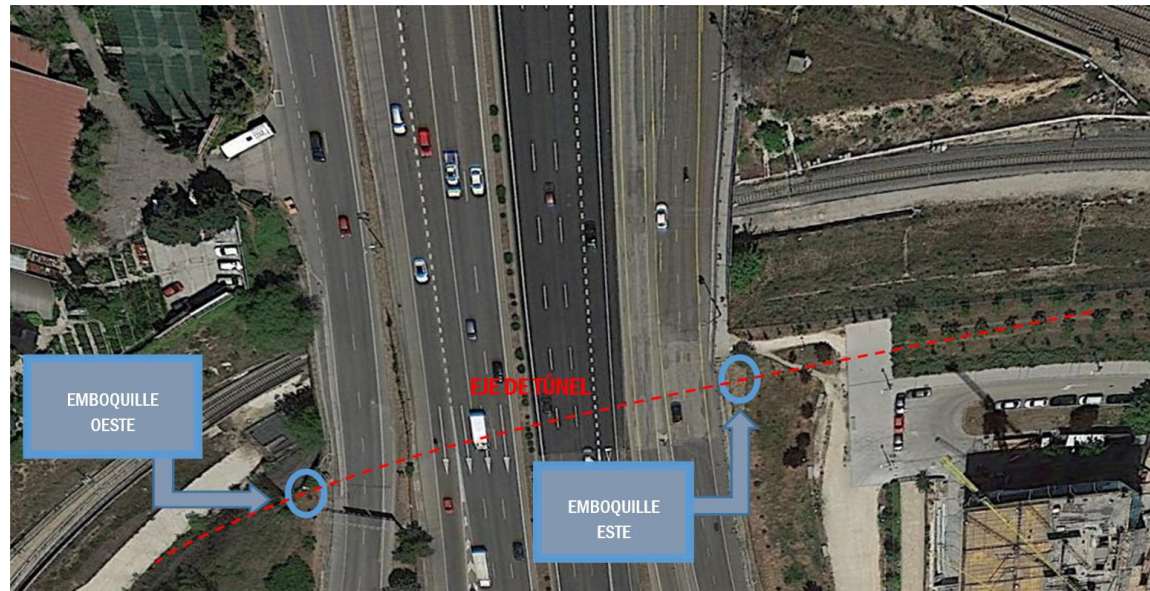
Según se verá en apartados posteriores, se ha optado por la utilización del Método Tradicional Belga, del que se tienen experiencias muy favorables en terrenos similares especialmente en ausencia de agua.

## 2.3. Condicionantes externos

Se han considerado como condicionantes externos en la definición de la sección tipo del túnel las estructuras próximas al mismo, cuya integridad podría verse afectada por la ejecución del túnel si no se definiese un procedimiento constructivo adecuado.

En lo que respecta al cruce bajo la A-1 del nuevo tramo ferroviario, la solución natural para resolver dicho punto singular sería la ejecución de un túnel en mina, con los correspondientes tratamientos de mejora del terreno para hacer frente a las siguientes singularidades:

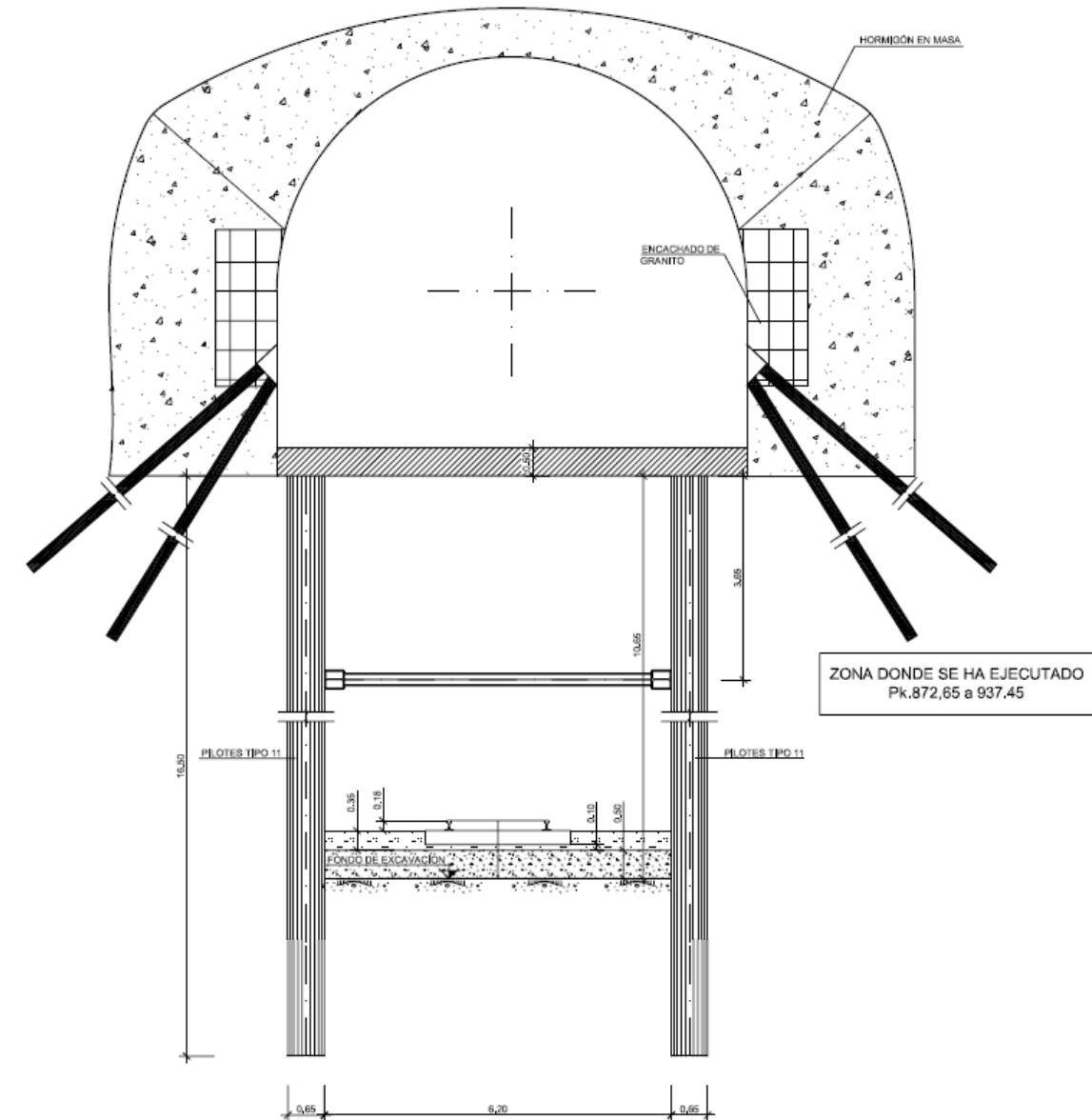
- Evitar daños en la Autovía A-1, formada por dos calzadas de cuatro carriles, y sus respectivas vías de servicio (Avda. de Burgos), de acuerdo con lo mostrado en la siguiente Fotografía aérea. Cabe reseñar que el nuevo túnel (cuyo eje se representa en la figura de color rojo) mantendría una separación respecto de la superficie-calzada (cobertera) de unos 6-8 m en toda su longitud, siendo la zona más restrictiva la correspondiente al emboquille Oeste. El terreno excavado, de acuerdo con la información brindada por los antecedentes disponibles (Proyecto de Construcción: Acceso UIC al Aeropuerto de Barajas, fechado en marzo de 2011) consistiría en rellenos antrópicos compactados, arena de miga y arena tosquiza, unidades típicas de los suelos de Madrid.



Vista aérea del cruce bajo la A-1 de la infraestructura ferroviaria en estudio

- Minimizar las afecciones al túnel actual, el cual discurre sensiblemente paralelo a la obra subterránea en estudio y con una distancia libre entre hastiales de unos 10 m. Bajo el túnel existente se encuentran ejecutadas unas pantallas de pilotes de 0,65 m de espesor, 16,5 m de longitud y una anchura de 7,50 m, como se puede apreciar en la Figura mostrada a continuación (obtenida del Proyecto construido de remodelación de vías en la estación Madrid Chamartín para atender los nuevos tráficos de alta velocidad, de fecha septiembre 2008).
- Mantenimiento de las condiciones de servicio de ambas infraestructuras durante la fase de construcción.
- Compatibilizar las actividades constructivas del nuevo túnel con los requerimientos de seguridad de los usuarios del resto de infraestructuras afectadas por las obras.

Para hacer frente a la construcción de un túnel de estas características resulta imprescindible la ejecución de una serie de tratamientos especiales, tanto del terreno vinculado a la excavación de la nueva obra subterránea, como de refuerzo y protección de las estructuras anexas, entre las que también conviene destacar los estribos que se intuyen como subestructura del tablero que constituye la vía de servicio situada junto al emboquille Este de la línea ferroviaria en estudio, que se puede observar en la siguiente Fotografía.



Sección transversal del túnel existente (Ref.: "Proyecto construido de remodelación de vías en la estación Madrid Chamartín para atender los nuevos tráficos de alta velocidad, de fecha septiembre 2008").





*Tablero de vía de servicio de autovía A-1 situado junto al emboquille Este.*



*Salida de emergencia existente junto a emboquille Oeste.*

De hecho, la solución podría verse condicionada notablemente por la interacción que pudiera existir entre los citados estribos y los elementos de sostenimiento del nuevo túnel, para lo cual sería necesario realizar en fases más avanzadas del diseño, un inventario y replanteo de las estructuras existentes en ambos emboquilles, incluyendo un registro de antecedentes (as built) que permita identificar tipologías estructurales, geometrías... y con ello, calibrar con detalle el impacto de la actuación.

Otras estructuras a proteger son:

- La salida de emergencia de la vía subterránea existente, ubicada junto al emboquille Oeste, la cual se puede apreciar en la Fotografía mostrada a continuación.
- Una torre de línea eléctrica, situada entre los PPKK 1+030 – 1+040 de la nueva vía proyectada, que se podría ver afectada por el tramo de falso túnel que da acceso al emboquille Oeste, como se puede apreciar en la Fotografía adjunta.



*Torre eléctrica existente junto a emboquille Oeste.*



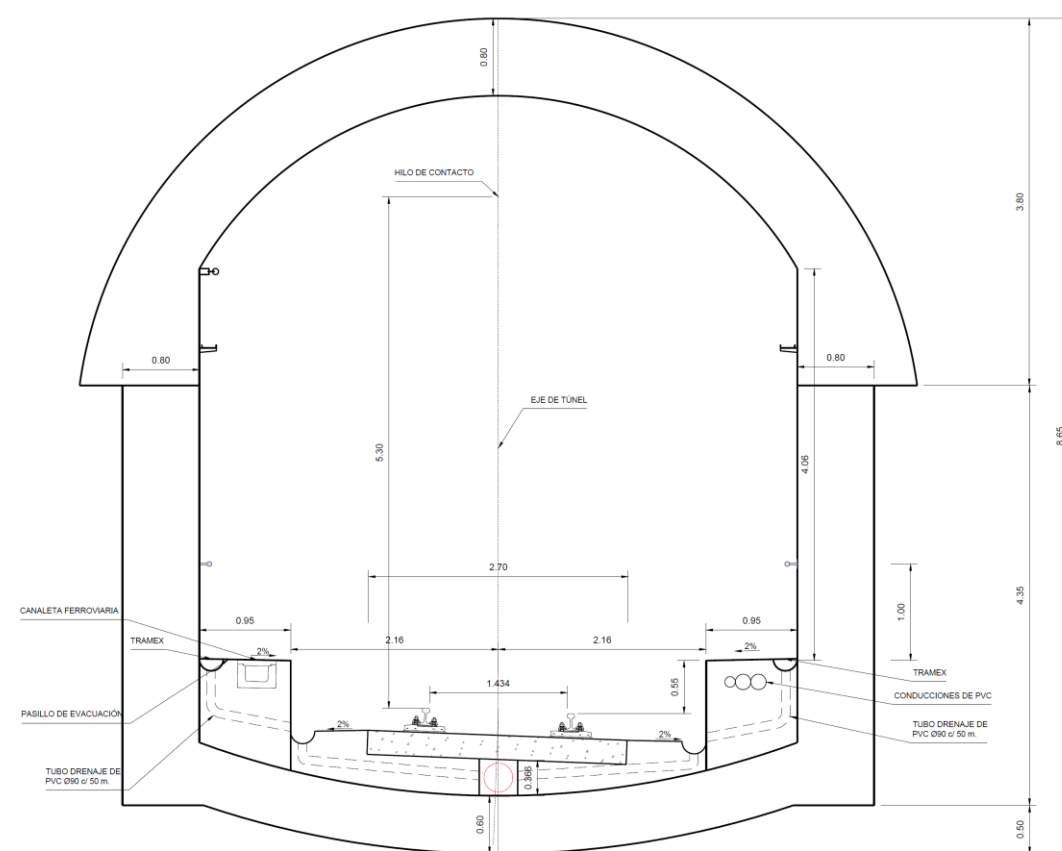
## 2.4. Definición de la sección

Teniendo en cuenta todos los condicionantes anteriormente expuestos y las recomendaciones recogidas en la Normativa de Adif de Plataforma NAP 2-3-1.0, se ha diseñado la sección tipo para el túnel en mina que se muestra en la siguiente Figura.

La altura libre desde la rasante de vía en el eje del túnel es de 6,37 m, mientras que la anchura es de 6,22 m.

La sección elegida posee hastiales rectos de 0,80 m de anchura que llegan hasta una altura de 4,06 m por encima de la cota de acera, que están dispuestas a 0,55 m de la cota de carril. En solera se dispone una contrabóveda de 0,60 m de espesor.

La bóveda es de sección circular de un único centro y tiene un espesor de 0,80 m. En la zona de apoyo sobre los hastiales se han diseñado a ambos lados unas "patas de elefante" para favorecer su ejecución y no descalzar la bóveda durante la ejecución de la destroza, en estas zonas el ancho máximo se aproxima a 1,25 m.



Sección tipo del túnel en mina

## 3. Características geotécnicas del terreno

### 3.1. Unidades geotécnicas

Los materiales que se perforarán durante la ejecución del túnel constituyen la denominada Cuenca terciaria de Madrid que forma parte, desde el punto de vista geológico, de la depresión del Tajo.

Esta cuenca recoge una potente acumulación de sedimentos terciarios que incluyen materiales tipo suelo y materiales de transición hacia las rocas sedimentarias denominados a menudo como suelo duro - roca blanda. Dentro de estos materiales se incluyen tanto arenas como arcillas rígidas parcialmente litificadas. Dado que la depresión del Tajo se ha formado después de la orogenia alpina estos materiales apenas presentan plegamientos.

Se posee mucha información sobre estos materiales acumulada de los túneles de la red de Metro de Madrid, especialmente sus ampliaciones realizadas en los periodos 1995 - 1999, 1999 - 2003 y 2003 - 2007.

Las características geotécnicas de los materiales atravesados están recogidas y justificadas mediante un estudio específico en el Anejo de Geotecnia.

El tramo afectado por el túnel se compone fundamentalmente por las siguientes unidades geotécnicas:

- Rellenos Antrópicos compactados (Rxc).
- Arena de miga (A<sub>M</sub>).
- Arena tosquiza (A<sub>T</sub>).
- Tosco arenoso (T<sub>A</sub>).
- Tosco (T)

La distribución de estas unidades se puede consultar en el Anejo de Geotecnia.

En los siguientes apartados se incluyen las descripciones de las unidades geotécnicas detectadas y los parámetros geotécnicos característicos a considerar para el estudio del túnel bajo la A-1.

#### 3.1.1. Rellenos antrópicos compactados (Rxc)

Estos materiales forman parte del terraplén que constituye la carretera A-1. En base a los sondeos recopilados cercanos al túnel proyectado bajo la A-1 se prevé que el muro de estos rellenos se sitúe en torno a la cota 716.

Los parámetros geotécnicos característicos de estos materiales son los siguientes:

- Densidad aparente: 20 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 10 kPa
- Ángulo de rozamiento: 33º
- Módulo de deformación: 15-25 MPa

### 3.1.2. Arena de miga (*A<sub>M</sub>*)

Estos materiales se han detectado bajo los rellenos antrópicos compactados, con una potencia máxima de hasta 4,00 m. En profundidad se ha detectado alguna pasada de esta unidad, pero con potencias de 1,00 m aproximadamente.

Esta unidad incluye a los materiales terciarios más groseros de aquellos que componen las facies proximales de la Cuenca de Madrid, formada por arenas de grano fino a grueso, con matriz arcillosa y grava y gravilla dispersa en algunas zonas.

Presentan compacidad densa y su contenido en finos es inferior al 25%.

Los parámetros geotécnicos característicos de esta unidad son los siguientes:

- Densidad aparente: 20 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 5-10 kPa
- Ángulo de rozamiento: 35º
- Módulo de deformación: 55-75 MPa

### 3.1.3. Arena tosquiza (*A<sub>T</sub>*)

Esta unidad se ha detectado intercalada con el resto de materiales terciarios identificados. Su potencia varía entre casi 1,00 m y más de 4,00 m.

Esta unidad tiene un contenido en finos superior al 25% e inferior al 35%. Presenta una compacidad densa-muy densa.

Los parámetros geotécnicos característicos de esta unidad son los siguientes:

- Densidad aparente: 20,5 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 10-15 kPa
- Ángulo de rozamiento: 33º
- Módulo de deformación: 80-100 MPa

### 3.1.4. Tosco arenoso (*T<sub>A</sub>*)

Estos materiales presentan granulometría más fina que los ya descritos. Se presentan también en forma de niveles lentejonares y son los que predominan en la zona de estudio en profundidad, aparecen a partir de la cota 705, aunque entre la cota 712 y 708 se ha detectado un nivel en la zona del emboquille de salida del túnel (S-7 consultado).

Los parámetros geotécnicos característicos de esta unidad son los siguientes:

- Densidad aparente: 20,8 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 20-25 kPa
- Ángulo de rozamiento: 32,5º
- Módulo de deformación: 130 MPa

### 3.1.5. Tosco (*T*)

La unidad denominada como Tosco corresponde a la facies detrítica de grano más fino. Están compuestos por arcillas con contenidos pequeños de arena. En la zona de estudio se ha detectado un primer nivel en la zona del emboquille de entrada del túnel de 1,00 m de potencia entre las cotas 708 y 709 aproximadamente y en profundidad en la cota 700 con una potencia de unos 2,00 m.

Los parámetros geotécnicos característicos de esta unidad son los siguientes:

- Densidad aparente: 21 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 30-40 kPa
- Ángulo de rozamiento: 30º
- Módulo de deformación: 150 MPa

## 3.2. Niveles de agua

Hidrológicamente las facies Madrid se comportan como un acuífero multicapa, debido a la alta permeabilidad de capas como la arena de miga y el resto de formaciones de permeabilidad media a baja.

En el sondeo S-6 recopilado, situado a 70 m en el margen izquierdo de la ubicación del túnel en estudio, se detectó un nivel de agua colgado, asociado a la arena de miga a una profundidad de 5,05 m.

Se puede concluir que la existencia de agua se restringe a las facies más gruesas (arena de miga). Estos niveles aparecen como niveles colgados de pocos metros de potencia.



A nivel del estudio actual la información disponible se considera adecuada, pero de cara a la ejecución del túnel sería conveniente realizar un estudio y seguimiento hidrogeológico en la zona de estudio.

### 3.3. Agresividad

A partir de los datos recopilados de las campañas geotécnicas realizadas en la zona, es posible determinar el grado de agresividad de los suelos presentes en la zona de estudio.

#### Suelos miocenos (arena de miga, arena tosquiza y tosco):

Las cuatro unidades que componen el Mioceno detrítico de Madrid se depositaron en un mismo medio sedimentario muy pobre en sales; por lo que las cuatro unidades comparten la característica común de presentar un contenido muy bajo en sustancias químicas disueltas en la estructura del suelo. Este hecho se traduce en una **agresividad nula al hormigón**, que se confirma a través de los ensayos de laboratorio como se indica a continuación.

La totalidad de las muestras presentan valores de sulfatos nulos o muy por debajo del límite a partir del cual puede causar una agresión contra el hormigón.

El grado de acidez Baumann-Gully registrado también ha sido nulo o casi nulo en todos los ensayos recopilados.

#### Rellenos antrópicos compactados

Normalmente los rellenos compactados en el área de Madrid se ejecutan con suelo procedente de zonas de préstamo o excavaciones en materiales miocenos no agresivos hacia el hormigón. Además, como los terraplenes y demás rellenos compactados se presuponen ejecutados bajo un control de calidad, no es de esperar que presenten ningún tipo de agresividad al hormigón.

## 4. Método de ejecución

En este apartado se recogen los principales métodos de ejecución de túneles considerados para el túnel en estudio, justificándose el que se considera más adecuado para el túnel en estudio, por las características y condiciones de contorno anteriormente expuestas.

### 4.1. Análisis del método de ejecución

Los métodos más comunes de ejecución de túneles son los siguientes:

- **Método Belga:** se trata de un método tradicional de ejecución a sección partida; Avance y Destroza, que se utiliza generalmente para la ejecución de túneles cortos excavados en suelos. Su aplicación óptima se consigue en terrenos cohesivos, formados principalmente por arcillas compactas, o arcillas con un cierto porcentaje de arenas. La excavación se realiza mediante el empleo de martillos picadores manuales. Requiere el empleo de mano de obra especializada.
- **Método del precorte mecánico:** consiste en la ejecución de una prebóveda de sostenimiento previo en el perímetro de la sección del túnel, antes de proceder a la excavación del terreno correspondiente a cada avance.
- **Nuevo Método Austriaco (NATM):** el empleo del Nuevo Método Austriaco de ejecución de túneles implica el hecho de permitir una relajación del estado tensional del terreno situado alrededor de la excavación, que lleva asociado un cierto desplazamiento del mismo, con el objetivo de poder emplear un sostenimiento relativamente ligero que permita un equilibrio final empujes-deformaciones que sea aceptable, sin que lleguen a producirse inestabilidades.
- **Método de ejecución con tuneladora:** Esta metodología se concibió inicialmente con el objetivo de realizar la excavación del túnel al amparo de una estructura rígida y resistente que, introducida dentro del túnel en ejecución, proporcionase un área estable y segura en la zona del frente de trabajo.

Debido a la longitud del túnel en estudio, de solo 85 m en mina, resulta inviable el método de excavación con tuneladora, debido a la fuerte inversión necesaria y a las importantes instalaciones de obra que requiere.

La utilización del precorte, aunque viable, puede presentar numerosos problemas durante la ejecución de las obras, especialmente en aquellos tramos más arenosos y/o con presencia de agua, donde se pueden generar inestabilidades en la excavación del precorte, y desprendimientos.

Por lo tanto, los dos únicos métodos que pueden considerarse válidos para un túnel de esta longitud son el Nuevo Método Austriaco y el Método Belga.

De estos dos, el Nuevo Método Austriaco se aplica principalmente en roca, y precisa la colaboración del terreno en el sostenimiento de la excavación. Existen variantes de este método en las que se aplican sostenimientos muy rígidos con los cuales no se permite la deformación del terreno, pero generalmente su uso se suele limitar a zonas no urbanas, donde las posibles afecciones en superficie son nulas.

Tal y como se ha advertido en anteriores apartados el túnel en estudio cruza bajo la autovía A-1 y discurre próximo a otras estructuras, por lo que la utilización del NATM requeriría el uso de tratamientos especiales sistemáticos desde el interior del túnel para asegurar la estabilidad del frente de la excavación, los cuales siempre están sujetos a ciertas incertidumbres. Este hecho unido a la moderada longitud del tramo en mina, han determinado como opción más aconsejable el empleo del método Tradicional de Madrid (basado en el Método Belga), para la excavación del túnel, por ser un procedimiento constructivo que minimiza las dimensiones de los frentes de excavación abiertos, lo que resulta favorable para el control de los desplazamientos del terreno generados durante la ejecución y, por lo tanto, disminuyendo el riesgo de subsidencias y afecciones a estructuras próximas.

#### 4.2. Excavación en mina mediante Método Belga

La construcción del nuevo túnel en mina, de acuerdo con el ámbito geotécnico y condiciones de contorno expuestas, se plantearía utilizando el Método Belga. Se trata de un procedimiento manual de excavación secuencial de túneles que divide la sección en dos partes: Avance y Destroza. A diferencia del NATM, ampliamente utilizado en rocas, está basado en el principio de ejecutar pequeñas excavaciones de avance en clave, que limitan mucho el frente abierto, minimizando de esta forma el riesgo de inestabilidades en el frente de la excavación. Se comienza la excavación con una galería de avance que se va entibando y recreciendo para formar la bóveda, pero siempre con un desfase longitudinal por cada etapa de ensanche. De esta manera el frente abierto por cada plano de excavación es pequeño, por lo que las condiciones de estabilidad son más favorables. La Destroza se construye después del Avance, con un cierto decalaje y por bataches, para evitar descalzar la bóveda.

Las secciones a que da lugar este método, son arcos con un cierto rebaje en el Avance y que cuentan con un ensanche en forma de pata de elefante en el apoyo. La Destroza está formada por hastiales generalmente rectos que se suele unir a una contrabóveda curva para cerrar la sección y que ésta funcione estructuralmente mejor.

El sostenimiento provisional o entibación perdida, es siempre cuajada a base de puntales de madera, longarinas metálicas y tablas, como se puede ver en la Figura incluida a continuación, y el revestimiento definitivo es de hormigón en masa bombeado (o armado en casos excepcionales).



*Sostenimiento provisional en bóveda y apuntalamiento de longarinas según el Método Belga*

La excavación de este tipo de mina es un método cuya aplicación es ventajosa en el caso de excavaciones en suelos que pueden afectar a infraestructuras o estructuras adyacentes y que requieran limitar las ocupaciones en superficie de la obra, como ocurre con el túnel en estudio.

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



Este método tradicional está sometido a mayores incertidumbres que la excavación a cielo abierto, puesto que las condiciones del sustrato tan sólo son a priori conocidas con exactitud en los puntos investigados y en el momento de la investigación, siendo el resto de las condiciones geotécnicas extrapoladas e interpretadas a partir de estos datos. No obstante, la experiencia en túneles excavados mediante este procedimiento ha demostrado la seguridad del procedimiento que lleva usándose más de un siglo. Paralelamente al desarrollo de las obras subterráneas en entorno urbano, también se han ido desarrollando tratamientos de protección que facilitan la excavación de túneles en mina en condiciones desfavorables. Esta necesidad de tratamientos en determinadas condiciones, suponen una desventaja del procedimiento, puesto que requieren ocupaciones en superficie o bien pozos para su ejecución, que además incrementan el coste de excavación del túnel.

Por otra parte, este método posee el inconveniente de que requiere un mayor número de mano de obra especializada que en el caso de la excavación mecanizada. Esta mano de obra aumenta mucho con el número de frentes abiertos a la vez. Sin embargo, es un método muy versátil ya que permite su utilización en tramos cortos, de entronques con secciones variables, en tramos de rasantes inclinadas, etc. por lo que resulta apropiado en el caso de cañones y galerías, complementado en caso necesario, con tratamientos del terreno.

En este sistema de avance, los frentes de avance de excavación no deben exceder los 5 m<sup>2</sup>. Túneles de 9,50 m de diámetro se han ejecutado con velocidades de avance por frente de excavación de 1 a 3 m/día por este sistema.

#### 4.3. Fases de excavación y descripción general del método

En síntesis, las fases de ejecución típicas son las siguientes:

- Excavación y entibación de la galería de avance (de dimensiones reducidas, aproximadamente de 1,80 m x 1,50 m).
- Ensanche lateral y entibación de la sección de avance.
- Encofrado y Hormigonado de la bóveda.
- Ejecución de la destroza central.
- Excavación por bataches contrapeados y hormigonado de hastiales.
- Ejecución de contrabóveda.
- Inyecciones de contacto.

El hormigonado de la bóveda se ejecuta mediante bombeado "in situ". Posteriormente se realiza la excavación de la Destroza inferior para finalizar con el hormigonado de los hastiales contrapeados (ver Figura adjunta). La sección se completa finalmente mediante la contrabóveda o solera de cierre.

Tras la ejecución de la contrabóveda, se inyecta el trasdós de la bóveda a través de taladros pasantes. Con este proceso se persigue rellenar los huecos que hayan podido quedar en el trasdós de la bóveda, entre el hormigón, la entibación de madera y el perfil de excavación, e impermeabilizar las juntas de contacto entre anillos.

La presión de inyección debe ser limitada para evitar la aparición de cargas excesivas sobre el revestimiento, limitándose habitualmente a 2 bar.



*Encofrado y hormigonado de la bóveda*





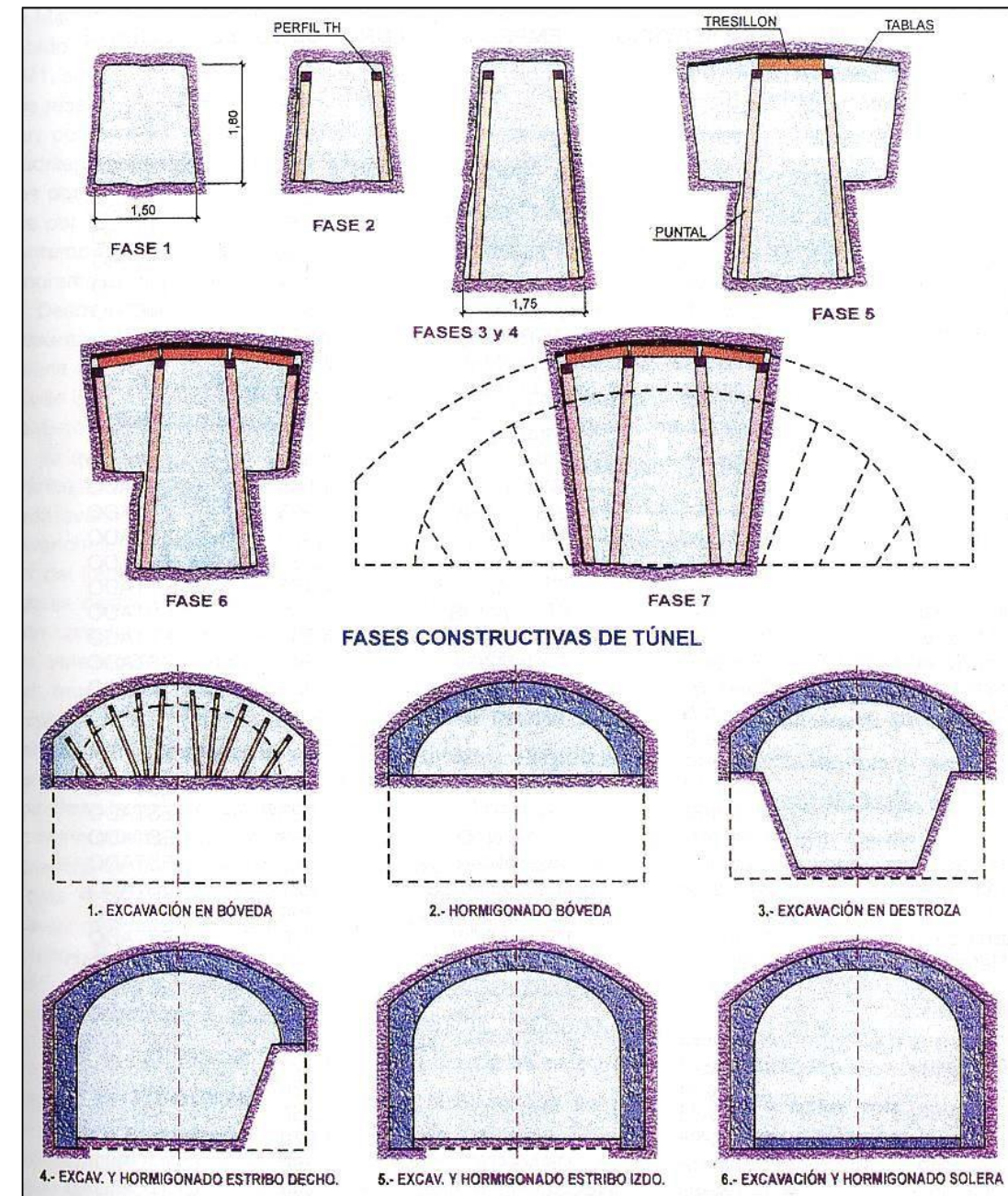
*Destroza y ejecución de hastiales desfasados*

En la Figura siguiente se muestran de forma esquemática las fases constructivas del Método Belga.

#### 4.4. Adecuación del método de ejecución a la sección del túnel

En el caso que nos ocupa la sección de túnel a excavar está formada por una zona de bóveda de una anchura máxima en la zona de apoyo de las patas de elefante de aproximadamente 8,72 m y una altura de excavación de 3,80 m. La zona de Destroza tiene una anchura de excavación de aproximadamente 7,82 m y una altura de 4,35 m. Finalmente para la ejecución de la contrabóveda diseñada se deberán excavar 0,50 m máximo, por debajo de la cota inferior de la Destroza.

El proceso de ejecución por Método Belga de la Destroza, para el túnel en estudio, se ha planteado en dos fases (o batches), en lugar de en tres como muestra la Figura anteriormente presentada, pues la sección definida tiene una anchura inferior a 8 m. Se plantea la ejecución del primer batch dejando un talud de pendiente 1H:3V para el segundo batch y una berma del mismo de 1,50 m.

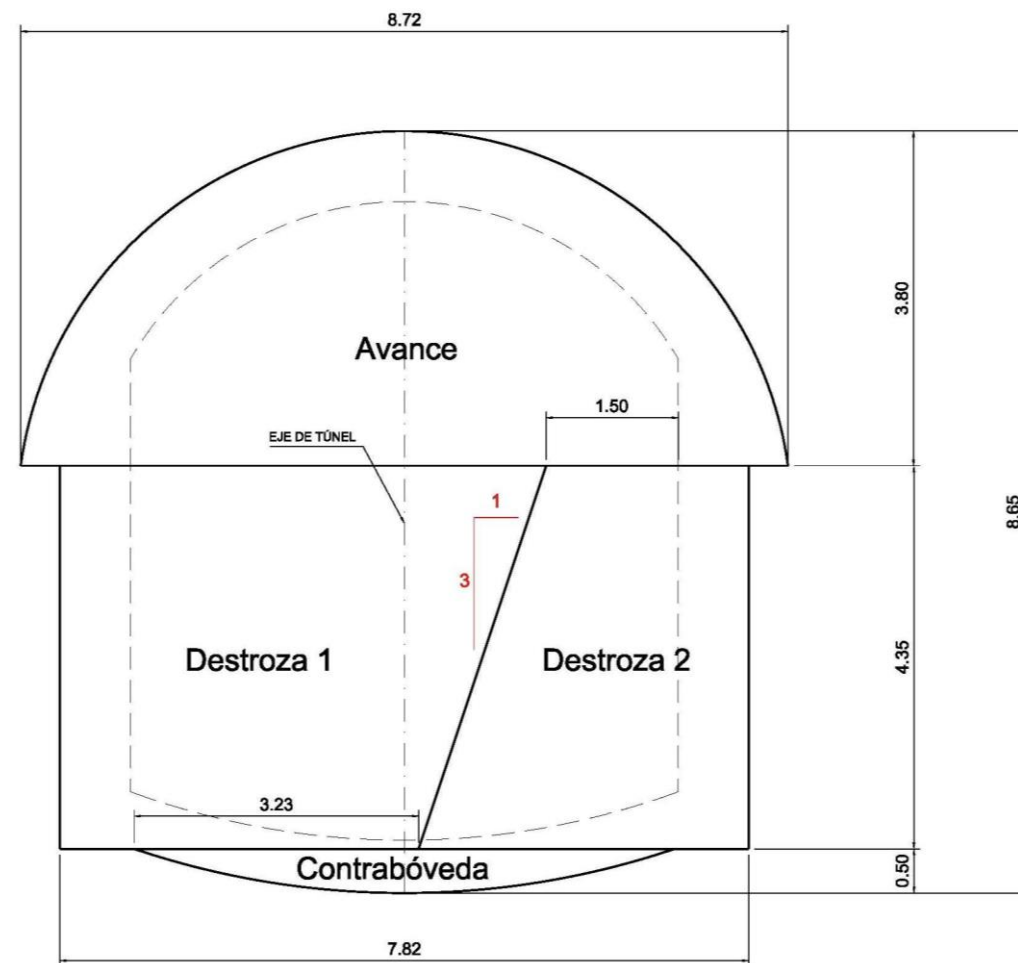


*Fases constructivas habitualmente utilizadas en el Método Belga de construcción de túneles*

De esta forma las fases constructivas planteadas para el túnel en estudio son las mostradas en la Figura mostrada a continuación.

La secuencia constructiva descrita para el túnel debe venir precedida de una serie de tratamientos de refuerzo del terreno con objeto de salvaguardar la integridad de las infraestructuras colindantes y actuar de pre-sostenimiento de

las nuevas excavaciones. La descripción de estos tratamientos se incluye en los apartados siguientes.



*Fases constructivas del túnel.*

## 5. Revestimiento

La definición de las dimensiones principales del sostenimiento del túnel, se ha efectuado a partir de la recopilación de datos bibliográficos de túneles excavados en suelos mediante el Método Tradicional de Madrid.

El sostenimiento primario del túnel se va realizando en fase de Avance mediante entibación cuajada de madera, tal y como se ha expuesto anteriormente. El sostenimiento y revestimiento definitivo, se ejecuta de hormigón en masa, intentando evitar el armado de la sección, lo que reduciría considerablemente los rendimientos de ejecución del túnel.

El sostenimiento es pesado, pues requiere espesores de hormigón que eviten o minimicen la fisuración.

De esta manera, se ha propuesto un revestimiento en clave de 80 cm de espesor, con patas de elefante de 1,25 m. El revestimiento en hastiales también es de 80 cm de espesor y la sección se completa mediante una contrabóveda de hormigón de canto 60 cm.

## 6. Tratamientos de mejora del terreno

Los tratamientos del terreno son medidas preventivas o correctoras frente a los efectos negativos que la excavación del túnel puede inducir sobre estructuras o infraestructuras existentes. El abanico de tratamientos del terreno disponibles es muy amplio, pero la mayor parte de ellos se encaminan a paliar los movimientos o subsidencias que cualquier excavación produce en su entorno.

Estos tratamientos se diseñan en función de las características de la edificación, estructura o servicio a proteger, la magnitud del desplazamiento previsiblemente inducido, de la geometría del conjunto excavación - elemento a proteger, el espacio disponible y, por supuesto, la naturaleza del terreno y la posición del nivel freático. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que los tratamientos de mejora del terreno no deben usarse para suplir carencias o deficiencias por mala ejecución.

Entre los sistemas de protección posibles, para el presente proyecto se contemplan las siguientes alternativas:

- Mejora del terreno con Jet-grouting.

- Inyecciones convencionales de mejora del terreno con tubo manguito, habitualmente utilizadas para mejorar las propiedades de terrenos de escasa competencia.
- Inyecciones de compensación, cuyo fundamento estriba en introducir un cierto volumen de lechada o mortero (bentonita-cemento y algo de arena) que comprima el terreno en el área afectada por los movimientos del túnel a fin de que cause un cierto levantamiento de la superficie del terreno, el cual compense el asiento por la excavación. Las inyecciones suelen hacerse con taladros horizontales, desde pozos verticales próximos, pero también pueden hacerse con taladros inclinados desde superficie o desde alguna galería o túnel próximo. En los taladros se instalan tuberías con tubos-manguito para poder reinyectar las veces que se considere necesario.
- Paraguas de micropilotes, utilizados en excavaciones con métodos convencionales.

En los siguientes apartados se incluye una breve descripción de cada una de las variantes constructivas consideradas como técnica plausible para el tratamiento del terreno existente alrededor del futuro túnel.

### 6.1. Jet grouting

El jet-grouting es un proceso que consiste en la desagregación del suelo (o roca poco compacta), mezclándolo, y parcialmente sustituyéndolo, por un agente cementante (normalmente cemento). La desagregación se consigue mediante un fluido con alta energía, que puede incluir el propio agente cementante.

En su aplicación se utiliza un equipo de bombeo de alta presión que impulsa la mezcla de inyección a través del varillaje de una sonda perforadora. Se trata de un procedimiento de inyección de alta energía en el que la progresión de la lechada o fluido a alta velocidad, más de 200 m/s, rompe y mezcla el terreno alrededor del taladro, formando columnas de suelo-cemento con geometría y propiedades mecánicas dependientes, tanto del terreno tratado, como del sistema y parámetros del propio tratamiento.

Los principales sistemas de jet-grouting, de acuerdo con la Figura adjunta, son:

- Sistema de fluido único: Cuando la desagregación y cementación del suelo se consigue con un chorro de un único fluido a alta presión que, en general, es una lechada de cemento.

- Sistema de doble fluido (aire): Cuando la desagregación y cementación del suelo se realiza por un fluido, normalmente lechada de cemento, asistido por un chorro de aire a presión que actúa como segundo fluido.

- Sistema de doble fluido (agua): Cuando la desagregación del suelo se obtiene por un chorro de agua a alta presión, utilizando como segundo fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.

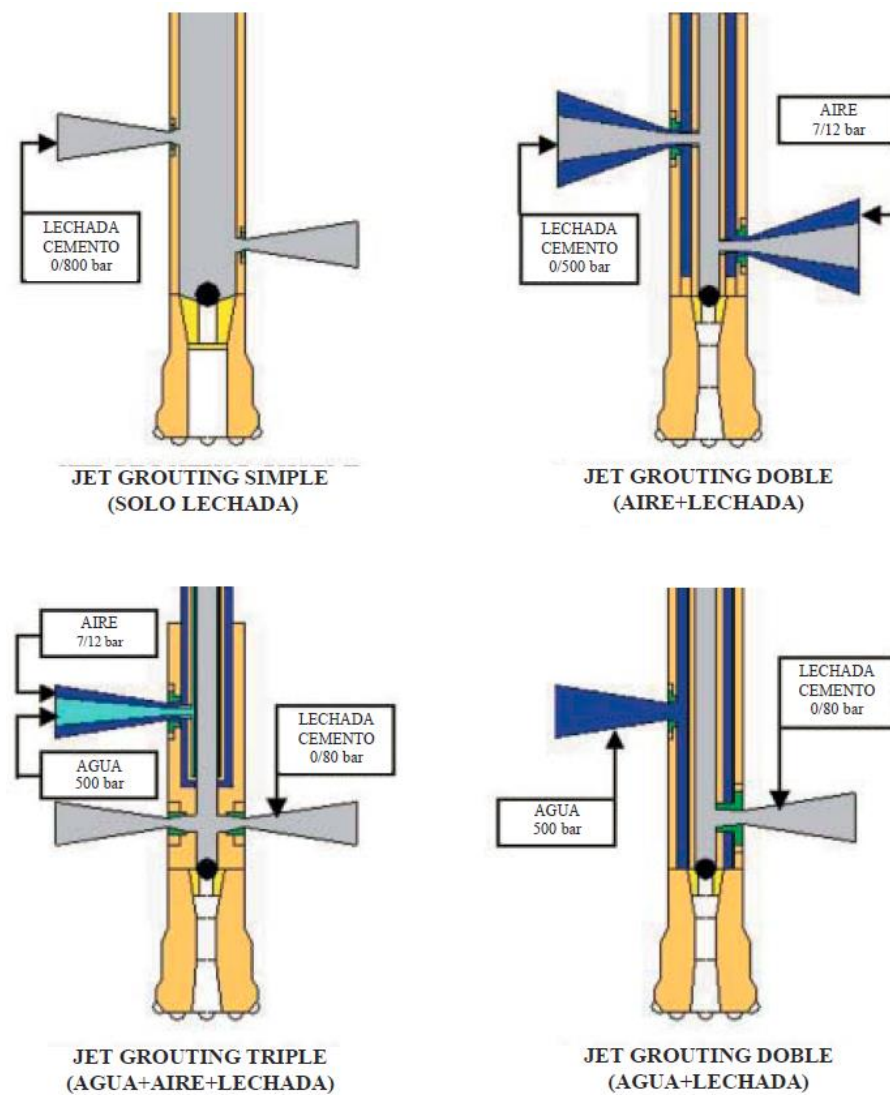
- Sistema de triple fluido: Con este sistema la desagregación del suelo se consigue por un chorro de agua a alta presión, asistido por un chorro de aire a presión, utilizando como tercer fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.

La extracción del varillaje se efectúa con un movimiento de traslación y otro de rotación de forma que el chorro de inyección tiene un barrido helicoidal a lo largo del tramo tratado.

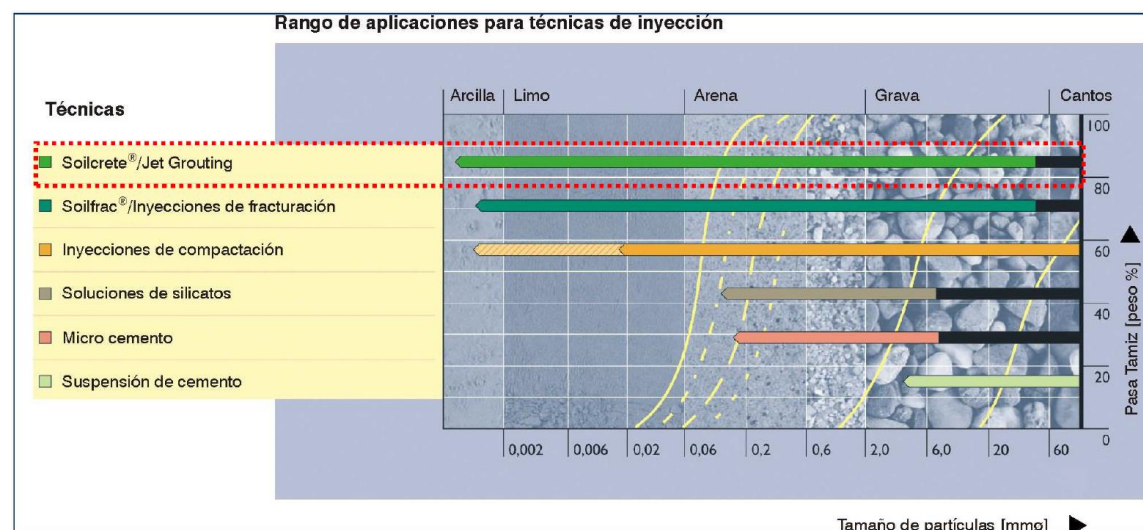
El chorro rompe el terreno desplazándolo en el interior de un cierto volumen y modifica su estructura y propiedades mecánicas en el sentido deseado según las características de la mezcla empleada, y dentro de unos ciertos límites.

El resultado es la formación de columnas de suelo-cemento, de sección aproximadamente circular, conseguidas mediante la mezcla "in situ" por remoldeo del terreno natural y una lechada de un conglomerante hidráulico.





Tipos de Jet-grouting en función de los componentes inyectados



Idoneidad de distintos métodos de inyección en función de la granulometría.

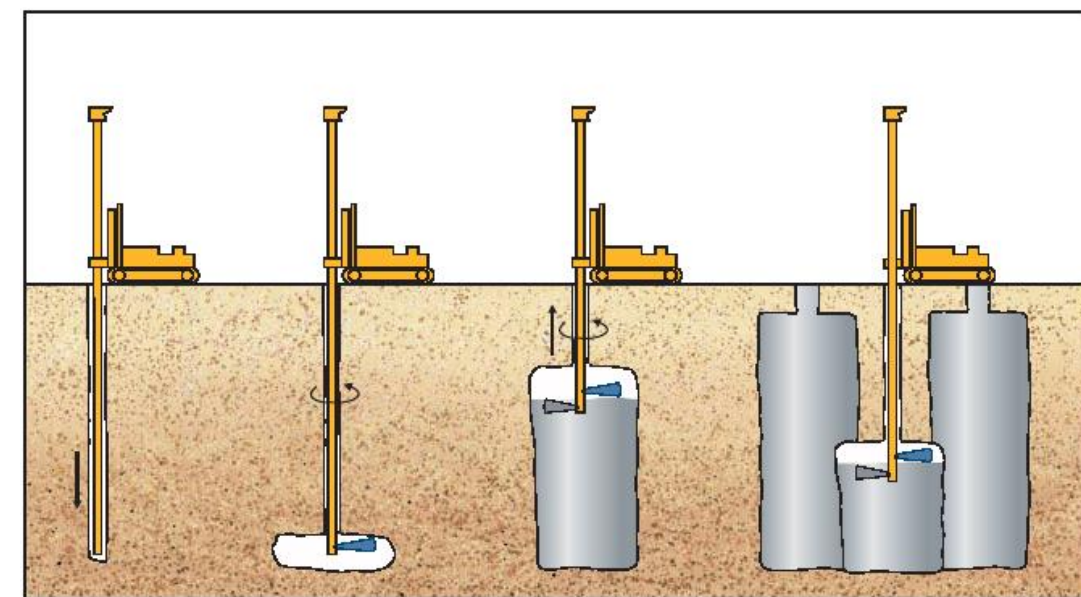
La energía de inyección es suministrada por una bomba especial, que puede generar presiones entre 10 y 800 bares según los requerimientos de cada caso, si bien las más frecuentes están en el rango de los 300 a 600 bares. Esta presión en la bomba se transforma en energía cinética a la salida de las toberas, dando lugar a unos chorros de mezcla con velocidades muy altas (200-300 m/s) para caudales de 60-110 l/m.

Las propiedades mecánicas de las columnas de suelo-cemento tratado dependen de las características de la mezcla inyectada y del terreno. La resistencia a compresión simple puede variar entre 0,1 y 50 MPa, estando entre 3 y 20 MPa los valores más frecuentes.

Los diámetros de las columnas de suelo-cemento más frecuentes están comprendidos, en general, entre 0,5 y 1,5 m, correspondiendo éstos últimos al empleo de sistemas múltiples con inyección de chorros de agua y aire - lechada.

Los consumos habituales de cemento oscilan entre 250 y 1200 kg/m. La existencia de agua no representa ningún obstáculo para el uso de esta técnica, que puede aplicarse incluso con velocidades de filtración de hasta 0,01-0,10 cm/s, inyectando mezclas especiales con fraguado en pocos minutos.

Por otra parte, como hasta el momento no se dispone de un modelo teórico satisfactorio para esta técnica, los criterios, tanto para fijar los parámetros del tratamiento como para predecir los resultados del mismo, son básicamente experimentales, procedimiento que, por lo demás, resulta en general suficiente.



Fases de ejecución en tratamientos de columnas de jet-grouting.

## 6.2. Inyecciones con tubo-manguito

La técnica de tubo-manguito consiste en colocar en el terreno un tubo de acero o plástico (ver Fotografías adjuntas), usualmente de entre 35 y 70 mm de diámetro, perforado con pequeños orificios circulares, de 5 - 10 mm de diámetro, espaciados a intervalos estándares de 0,33 m a 0,50 m. Este espaciado permite posicionar el obturador a demanda del radio de alcance de la inyección.



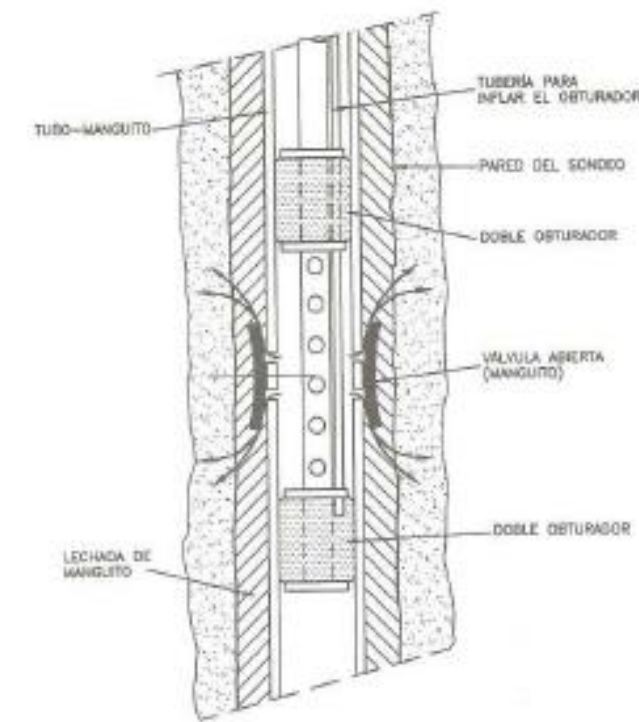
*Tipos de tubo-manguito: metálicos o de PVC*

Cada grupo de estas pequeñas perforaciones está recubierto exteriormente por un anillo de material elástico o manguito, de 60 a 120 mm de longitud, que actúa como una válvula antirretorno bajo la presión de inyección, permitiendo el paso de la lechada a través de las perforaciones hacia el terreno, rompiendo la vaina de sellado que previamente se ha dispuesto para solidarizar el tubo al terreno y evitar el escape de la mezcla a través del espacio anular.

El rango de diámetros de perforación habituales para la instalación de la tubería es de 75 a 110 mm.

En la siguiente Figura se muestra el funcionamiento del tubo-manguito. Tras ejecutar la perforación y, en su caso, extraer el revestimiento, se inyecta una mezcla de arcilla-cemento o bentonita en el espacio anular entre la pared del sondeo y la tubería de inyección para la formación de la vaina de sellado. La mezcla para la inyección de sellado debe proporcionar, una vez fraguado, un material grueso, de baja resistencia (0,3 - 0,5 MPa) y frágil.

A continuación, se introduce hasta la posición deseada la tubería con doble obturador que conduce el fluido de inyección.



*Esquema de funcionamiento del tubo-manguito*

Durante el proceso de inyección, la presión aumenta en la tubería de impulsión hasta que se rompe la vaina de sellado desplazando el manguito, permitiendo así que la lechada salga por las perforaciones hacia el terreno circundante. Al disminuir la presión por debajo de un valor límite, los manguitos impiden el retorno de la lechada al tubo-manguito y la lechada de manguito previene cualquier escape hacia la superficie.

Las ventajas fundamentales de esta técnica son que la inyección se realiza de manera controlada, tanto en presión y caudal como en volumen, y en una zona determinada del terreno, además de ser posible una reinyección.

## 6.3. Inyecciones de compensación

Las inyecciones de compensación tienen el objetivo de provocar movimientos controlados en el terreno que compensen los producidos por otras causas. En concreto se han mostrado como un procedimiento eficaz para reducir, o eliminar, los movimientos indeseables causados por la subsidencia asociada a las excavaciones de túneles en el ámbito urbano.

El origen de las inyecciones con morteros secos o de consistencia muy baja puede situarse a comienzo de los años 50. Comenzaron a emplearse para rellenar huecos bajo estructuras y, poco después, permitieron levantar losas y cimentaciones de forma controlada.



Estas experiencias condujeron a las inyecciones de compactación, basadas en la expansión, que causan una rotura del terreno en el entorno del punto de inyección, sin penetrar en el mismo.

La compensación de movimientos, como medida de protección estructural, constituye un proceso dinámico que introduce material entre una estructura y un túnel para lograr la compensación inmediata de los movimientos que provoca el fenómeno de la subsidencia.

Su objetivo es mejorar las propiedades del terreno y eliminar los movimientos que dañan las estructuras debidos a la subsidencia de las excavaciones profundas.

Actualmente se suelen emplear pozos de inyección próximos al área de tratamiento, interponiéndose un abanico horizontal de taladros y tubos de inyección entre la estructura afectada y la excavación.

Junto con las técnicas de medición y control recientemente desarrolladas, así como los dispositivos especiales de observación, es posible, a través de dichas inyecciones, elevar estructuras varios centímetros.

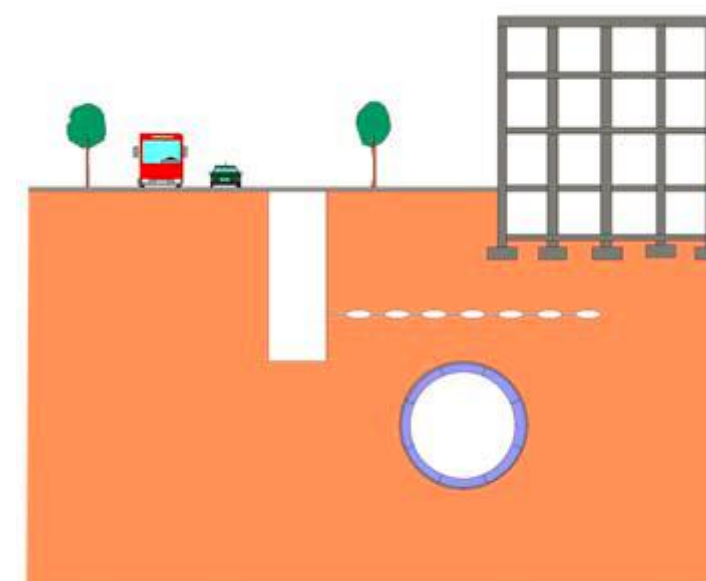
Se puede decir que las inyecciones de compensación constituyen el único tratamiento del terreno que afronta los efectos de la subsidencia de manera activa, lo cual permite reaccionar de forma eficaz ante cualquier diferencia respecto a los resultados esperados.

En los últimos tiempos se ha visto generalizado el empleo de tratamientos del terreno mediante inyecciones de compensación, debido al éxito obtenido en la conservación de las estructuras sin apenas movimientos.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la ejecución de los tratamientos del terreno mediante inyecciones de compensación es muy compleja. El diseño de estos tratamientos exige una fiel simulación, tanto del proceso de excavación y generación de subsidencias, como del control de ejecución.

### 6.3.1. Fases de ejecución

El procedimiento consiste en la ejecución de un nivel de inyecciones desde el cual se reinyecta el terreno en fases sucesivas provocando un aumento de volumen que compensa las subsidencias generadas. Los desplazamientos en el entorno de los puntos de inyección comienzan a producirse en cuanto la presión es suficiente para romper el terreno.



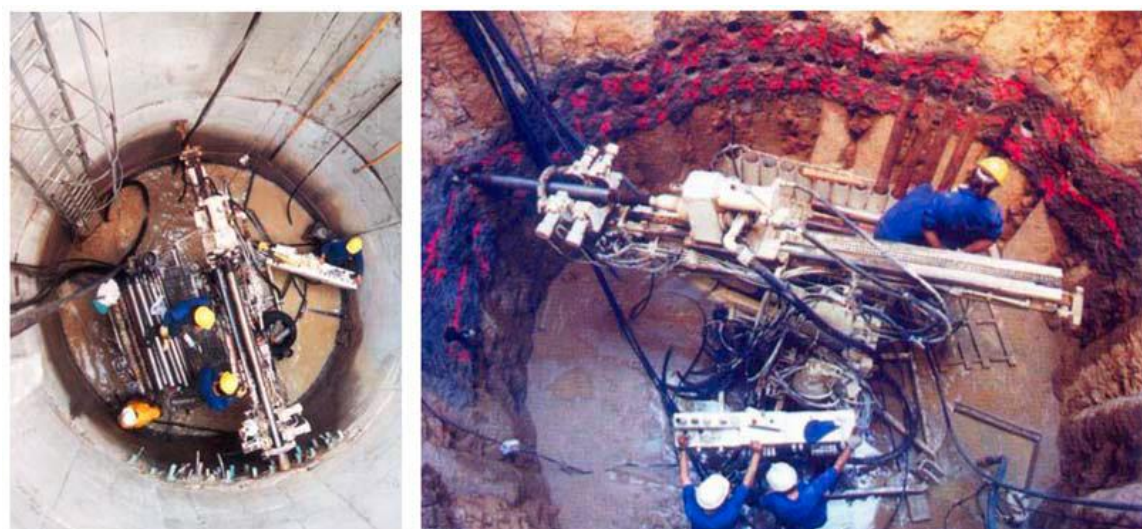
*Esquema de inyecciones de compensación ejecutadas desde pozo*

Los trabajos de inyección para la compensación de movimientos habitualmente se realizan a partir de un conjunto de perforaciones en forma de abanico en planta que tratan de cubrir la proyección horizontal de las estructuras. Esto se basa en la necesidad de concentrar los movimientos provocados por la inyección bajo la estructura que, afectada por la excavación del túnel, se encuentra en proceso de descenso.

En general, la ejecución de las inyecciones de compensación comprende tres fases bien diferenciadas:

1. Realización de los taladros, cubriendo con posibles puntos de inyección la superficie horizontal de actuación (Área de Compensación).
2. Inyección de acondicionamiento, previa al inicio de la excavación, para mejorar el terreno de modo que cualquier inyección posterior se traduzca inmediatamente en una expansión volumétrica que se propague desde el punto de inyección (Pretratamiento). En esta fase se densifica el terreno en un radio de 1 a 2 m del punto de inyección.
3. Inyección de compensación propiamente dicha, que consiste en introducir en el terreno, de forma controlada, un volumen de mezcla suficiente para compensar el efecto de la subsidencia, y eliminar o reducir los movimientos en las estructuras y servicios afectados. Puede efectuarse al mismo tiempo que la excavación tratando que los movimientos no se produzcan (Inyección concurrente o proactiva), o como respuesta a los movimientos ya producidos (Inyección observacional).





*Inyecciones de compensación ejecutadas desde pozo*

### 6.3.2. Área de compensación

La ubicación en cota de esta área deberá situarse entre la fuente de movimientos y los elementos a proteger, cuidando que las grandes presiones y posibles escapes de inyección no afecten al revestimiento o paredes de excavación, ni a las soleras y cimentaciones de las estructuras y servicios afectados.

Se define como "nivel de inyección" la cota teórica a la cual se formará la "losa" o plano horizontal de taladros y terreno inyectado.

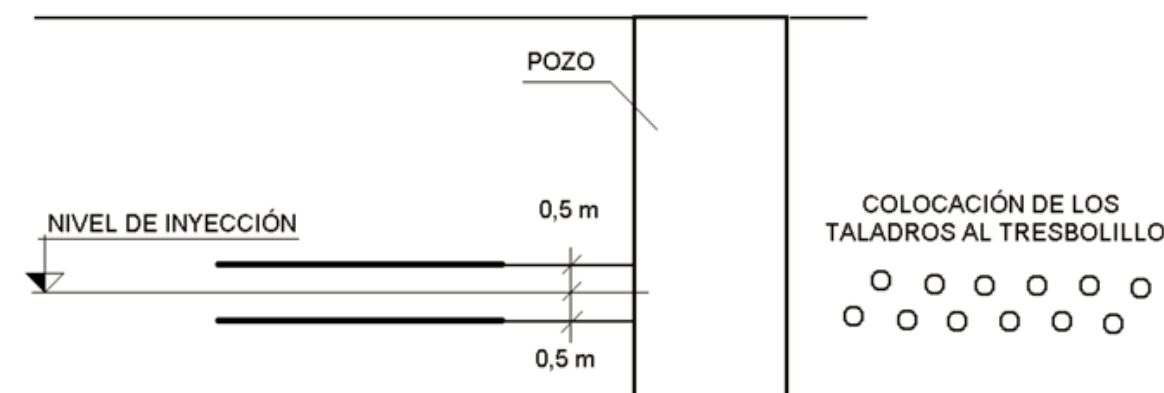
El "nivel de inyección" se suele situar, como orden de magnitud, dentro de la zona limitada por las siguientes condiciones:

- Distancia de la inyección a la cimentación de las estructuras a proteger  $\geq 4,0$  m.
- Distancia de la inyección a la clave del túnel  $\geq 3,0$  m.

Definida el Área de Compensación en planta y cota, se dispondrán los taladros de inyección con separaciones entre los posibles puntos de inyección de 1,5 a 3,5 m, según la distancia del área de compensación a las estructuras y servicios afectados.

Los taladros pueden tener una longitud máxima del orden de 50-60 m, por la imposibilidad de guiar la perforación en longitudes mayores, aunque se pierde eficacia a partir de los 30 m. La separación máxima entre taladros suele ser de unos 3 - 4 m.

La separación de los puntos de inyección en el Área de Compensación y las longitudes máximas de los taladros son los factores a considerar para disponer una o dos capas de taladros. En todo caso, conviene que los taladros no se corten o crucen.



*Nivel de inyección y disposición de taladros*

### 6.3.3. Inyección para acondicionamiento (Pretratamiento)

La ejecución de estas inyecciones, que tienen por objeto tratar el terreno antes de ser afectado por la subsidencia, en la práctica conlleva elevar levemente toda la superficie del Área de Compensación hasta un máximo que suele ser de 2 a 3 mm, lo suficiente para comprobar que todo el terreno reaccionará a las inyecciones posteriores de modo inmediato y homogéneo en toda la zona del tratamiento.

Es decir, con esta fase se pretende preparar el terreno y, además, constituye un ensayo de prelevantamiento que permite observar la reacción del terreno ante la inyección y la comprobación de todos los equipos instalados. Esta etapa se realiza antes de la llegada del frente de excavación.

### 6.3.4. Inyección de compensación

La inyección de compensación propiamente dicha consiste en inyectar, en el tiempo adecuado y en los puntos convenientes del Área de Compensación, los volúmenes de lechada precisos para limitar o anular los movimientos causados por la excavación.

Esta fase tiene un comportamiento muy difícil de predecir teóricamente, dado el cúmulo de factores que entran en juego, relacionados tanto con el terreno como con la propia inyección.



El proceso exige acompañar necesariamente la secuencia y el programa de inyección a los movimientos de la excavación y comprobar los resultados obtenidos por medio del seguimiento de las estructuras y servicios a proteger.

La primera de estas exigencias puede conseguirse más directamente actuando con la inyección a medida que se vayan produciendo pequeños movimientos de 5 a 10 mm, y tratando de compensarlos (método observacional).

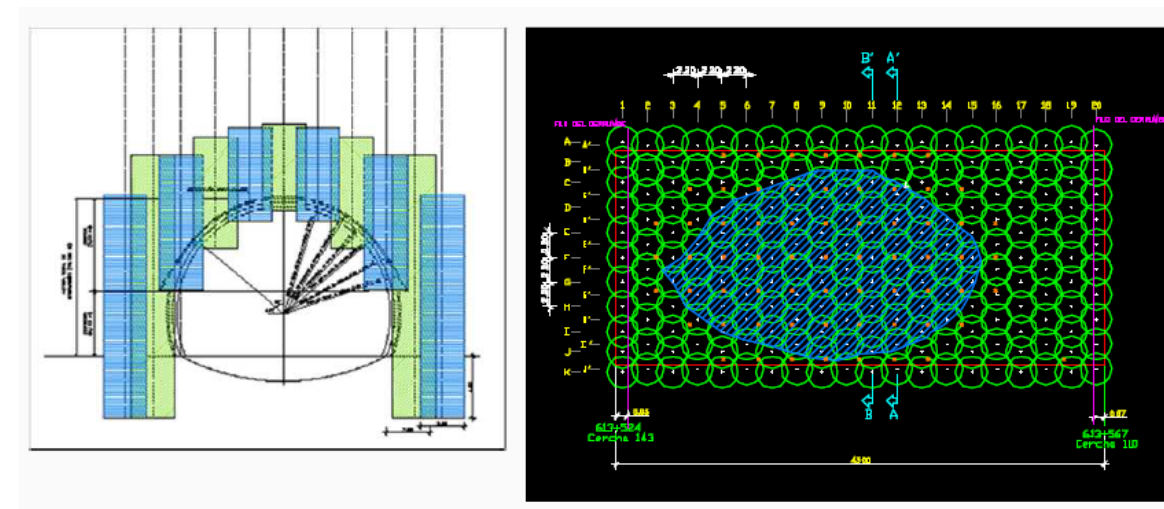
Cuando la forma y cuantía de subsidencia asociada a la excavación es conocida, como en los túneles, la inyección de compensación puede efectuarse simultáneamente con el avance de la excavación, de modo que los movimientos no lleguen a producirse. Es el método concurrente o proactivo que exige una buena comunicación y coordinación entre los equipos de excavación e inyección, y permite un mayor tiempo disponible para compensar posibles movimientos residuales.

En los casos singulares donde no se pueda inyectar para no dañar el túnel, o cuando se prevea un movimiento rápido con insuficiente respuesta en la inyección, podrá recurrirse a un levantamiento previo y neto de 5 a 10 mm, siempre con extrema precaución y por escalones inferiores a 5 mm.

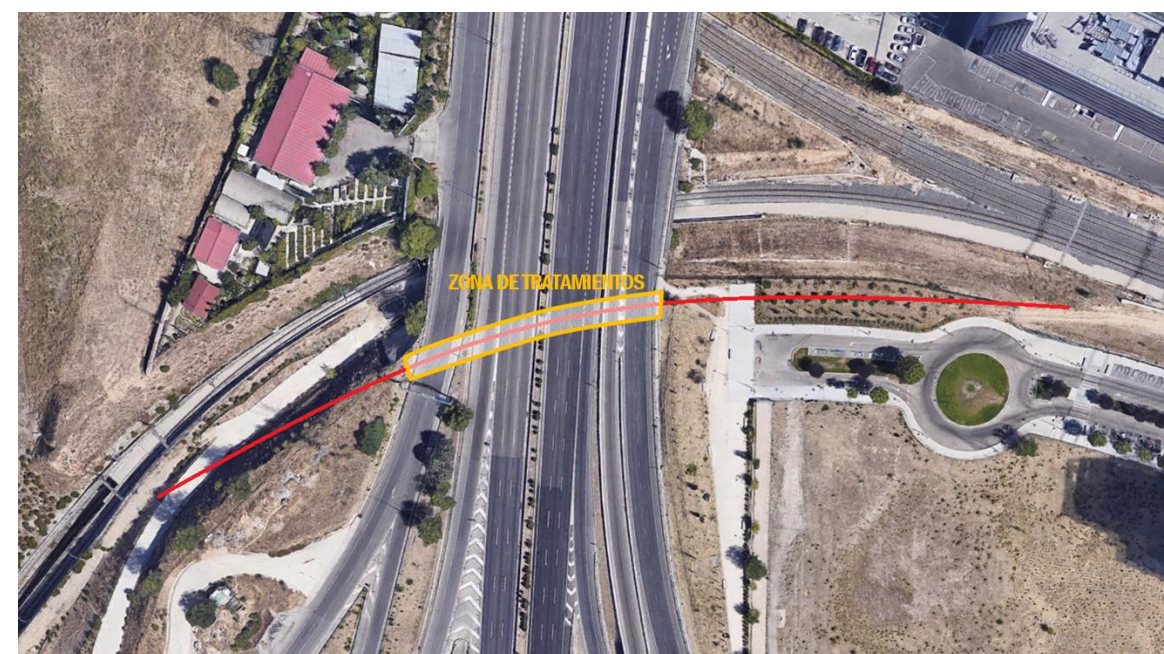
#### 6.4. Planteamiento de los posibles tratamientos

Los tratamientos de mejora que pueden dar solución a la ejecución del tramo de túnel en mina bajo la A-1 esencialmente consisten en la ejecución de columnas de jet grouting y/o el tratamiento mediante inyecciones con tubo manguito, de manera que se logre una corona de terreno cementado alrededor de la excavación que mitigue los riesgos de afección por subsidencia en superficie e impida igualmente la activación de movimientos en el frente de la excavación del nuevo túnel, o su progresión hacia el túnel existente.

Estos tratamientos, que se deberían realizar previo a la excavación del nuevo túnel, a priori sería más conveniente realizarlos desde superficie ejecutando perforaciones verticales, de acuerdo con el esquema mostrado en la siguiente Figura, pero para ello sería necesario plantear el corte temporal, en horario nocturno, de algún carril de las vías de servicio y de la autovía A-1. Las limitaciones de este tipo de tratamiento resultan evidentes desde el punto de vista de la ocupación de la superficie, y las correspondientes afecciones al servicio de la A-1. La zona de afección aproximada para realizar dichos tratamientos se muestra en la Fotografía aérea adjunta, representando una banda de superficie a tratar de aproximadamente 10 m de anchura.



*Tratamiento del terreno previo a la ejecución de túnel con columnas de jet-grouting y/o inyecciones.*



*Vista aérea de la posible zona de tratamientos de mejora desde superficie*

Habida cuenta de las dificultades que puede suponer en el servicio de la A-1 y sus respectivas vías de servicio los tratamientos desde superficie, como solución alternativa, especialmente bajo el tronco de ambas calzadas de la A-1, podría plantearse aprovechar el túnel ferroviario paralelo existente para ejecutar los tratamientos desde su hastial más próximo al trazado del nuevo túnel en estudio. En la situación actual existe un pasillo de servicio en el que se situará una nueva vía en una fase previa. De esta forma, los trabajos de mejora del terreno que se realicen desde el túnel actual deberían realizarse en bandas de

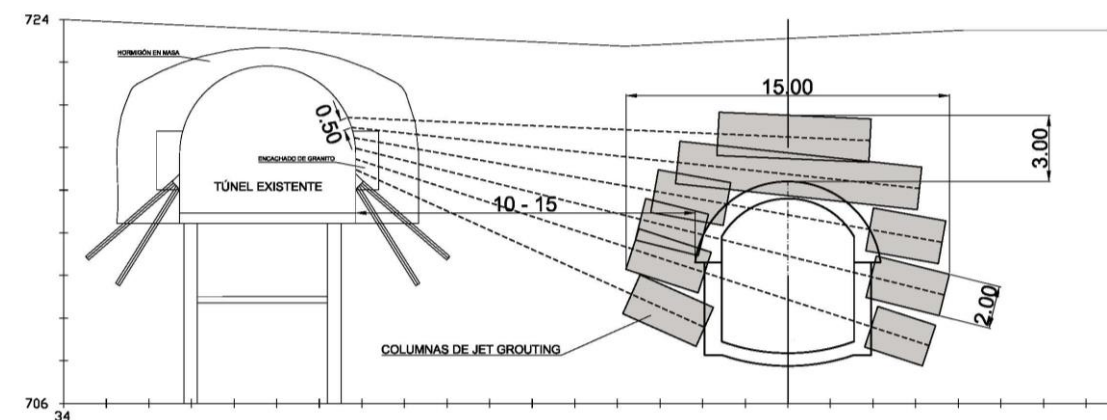


mantenimiento de las líneas ferroviarias que se encuentren en servicio en dicho momento.

De este modo, se plantean como posibles alternativas de tratamiento del terreno previo a la excavación del nuevo túnel, la ejecución en abanico de un tratamiento con jet grouting, o inyecciones, efectuados en ambos casos desde el túnel existente, en secciones equidistantes, de acuerdo con el esquema mostrado en la siguiente Figura.

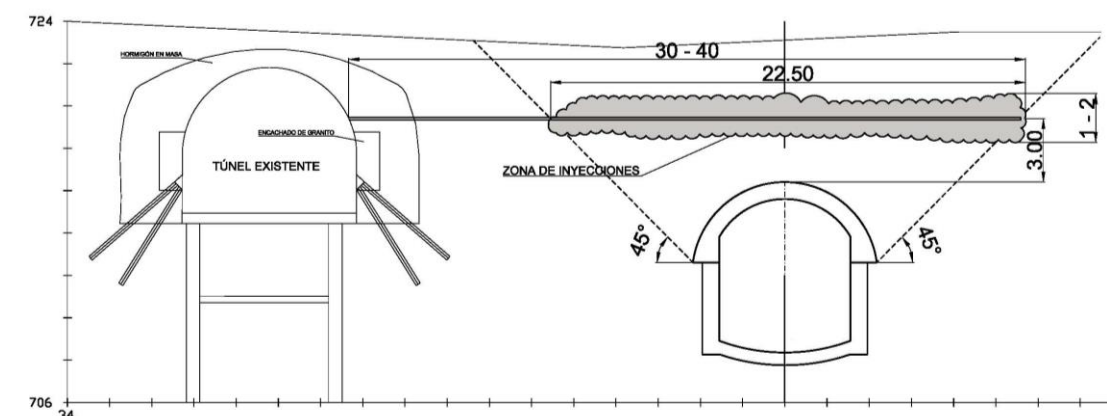


Vista de la zona alternativa de ejecución de tratamientos desde el hastial del túnel existente



Sección transversal de tratamientos con jet grouting desde el túnel existente

Otra posible solución alternativa, también a ejecutar desde el túnel existente y con las restricciones de realizarse en bandas de mantenimiento de la nueva vía, sería realizar inyecciones de compensación, según el esquema que refleja la Figura adjunta, de manera que si se detectasen movimientos al avanzar la excavación del nuevo túnel se pudiera proceder a reinyectar los taladros ejecutados y contrarrestar las subsidencias provocadas en las estructuras próximas, o incluso actuando de modo concurrente evitando que se produzcan los movimientos.



Sección transversal de tratamientos con inyecciones de compensación desde el túnel existente



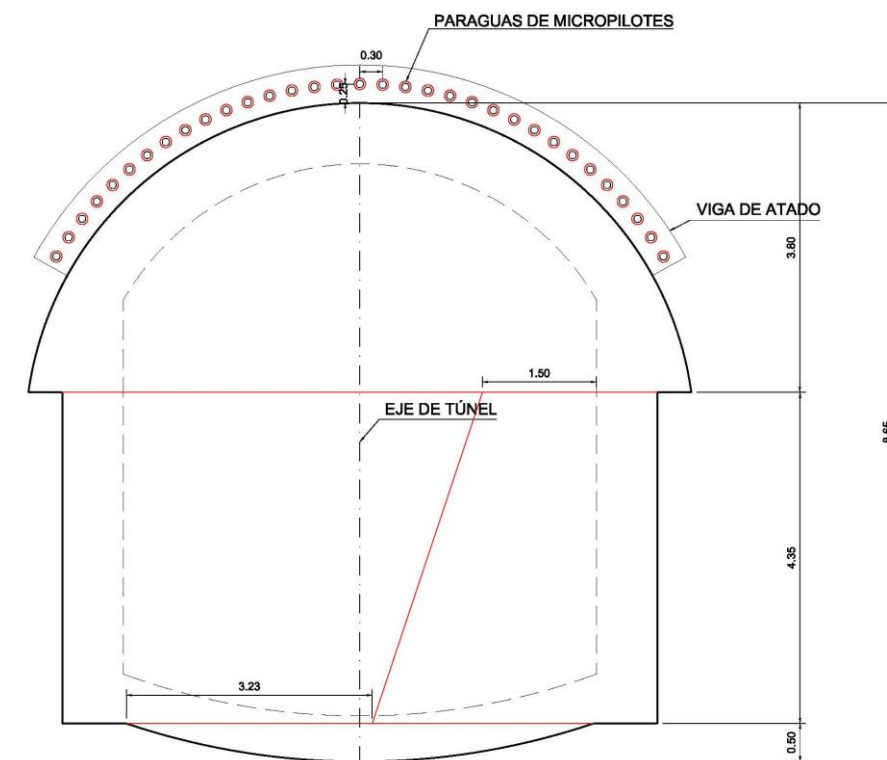
De acuerdo con lo indicado, una propuesta constructiva de los tratamientos podría pasar por aprovechar las vías de servicio de la A-1 para realizar tratamientos desde superficie, mientras que bajo las calzadas de la A-1 podría resultar más ventajoso realizar el tratamiento del terreno desde el túnel existente, en bandas de mantenimiento, tal y como se ha especificado con anterioridad. En la Fotografía mostrada a continuación se muestra de forma esquemática la propuesta de tratamientos del terreno descrita.



Esquema de posibles tratamientos de mejora del terreno.

En cualquiera de los casos, los tramos de túnel anexos a los emboquilles se protegerán con sendos paraguas de micropilotes (ver Figura adjunta), que podrían ser incluso dobles, con objeto de "blindar" los primeros metros de la excavación en mina. La longitud de estos paraguas será la máxima compatible con las posibilidades de ejecución que permita cada emboquille, ya que debe tenerse en consideración que el Método Belga no es compatible con la ejecución de paraguas fuera de estas zonas.

Como suele ser habitual en este tipo de actuaciones, la solución dependerá de un buen conocimiento de las infraestructuras y conjunto de servicios anexos que pudieran verse afectados tanto por los tratamientos como por la nueva obra subterránea.



Sección transversal de emboquille de túnel con paraguas de micropilotes.

## 7. Emboquilles

Debido a las condiciones de contorno en las que se deberán realizar los emboquilles del túnel, con poco espacio para su ejecución y con la proximidad de las vías de servicio de la autovía A-1, así como el túnel y la salida de emergencia existentes en la zona del emboquille Oeste, se ha planteado contener el talud frontal de ambos emboquilles prolongando las pantallas de pilotes que configuran lateralmente la tipología de los túneles artificiales. Además, tal y como se ha indicado anteriormente, se plantea el inicio de la excavación del túnel bajo la protección de un paraguas de micropilotes.

## 8. Impermeabilización y drenaje

En el túnel excavado mediante el Método Belga, a pesar de estar protegido mediante un revestimiento de hormigón en masa, la continuidad entre los diferentes elementos constructivos no es perfecta, por estar hormigonado en distintas fases y sin junta estanca. De todas maneras, los espesores de revestimiento son muy grandes, prácticamente mayores de 80 cm en todos los puntos (salvo solera), de manera que, salvo defectos en el hormigonado y zonas con abundante presencia de agua freática, el revestimiento será bastante impermeable. En todo caso, el relleno de lechada que se suele realizar en el trasdós del revestimiento, mejora la estanqueidad.

En cualquier caso, se ha contemplado a efectos de valoración económica una partida de impermeabilización por si resulta necesario implementar un perfil hidroexpansivo de caucho-bentonita a colocar en juntas en aquellas zonas donde se haya detectado agua durante el proceso de excavación del túnel.

Las filtraciones que llegan al interior del túnel una vez en servicio deben ser muy pequeñas. En todo caso, para recoger estas filtraciones y los posibles vertidos de agua en situación de emergencia, se ha previsto un sistema de drenaje del túnel.

El sistema de drenaje previsto consiste en caces laterales de sección semicircular de 25 cm de diámetro que recogen el agua de infiltración en ambos lados del túnel. Dichos caces van protegidos con rejilla tipo tramex o similar. Cada 50 m se dispone la evacuación de estos caces mediante tuberías de PVC de 90 mm de diámetro que desaguan en otros caces semicirculares de 25 cm de diámetro ejecutados en los laterales de la plataforma. Estos caces, a su vez, van conectados cada 50 m mediante tuberías de PVC de 90 mm de diámetro a un colector central de 300 mm de diámetro, accesible mediante arquetas dispuestas cada 50 m.

## 9. Instrumentación y control

Para lograr una correcta ejecución del nuevo túnel bajo la A-1 es preciso contar con una buena instrumentación en la zona donde se llevarán a cabo los trabajos de excavación, así como en las estructuras existentes en el entorno del túnel que pudieran verse afectadas por la actuación. También será necesario realizar un correcto control de los elementos de auscultación dispuestos.

Los principales elementos a utilizar en la obra en estudio son:

- Inclínómetros, para medir posibles desplazamientos horizontales de las pantallas a ejecutar en los tramos en falso túnel, antes y después del tramo de túnel en mina. Deberán disponerse a lo largo de toda la zona de pantallas, equidistanciados y en ambos hastiales.
- Hitos de nivelación o dianas, para control de subsidencias en la autovía y vías de servicio, así como otras estructuras próximas al túnel.
- Equipo de topografía y medición continua durante la ejecución de la excavación bajo las calzadas de la autovía y sus vías de servicio.
- Extensómetros de varilla dispuestos a distintas profundidades, en superficie y en el hastial del túnel existente más próximo al nuevo túnel.
- Piezómetros en ambos lados de las pantallas en zonas próximas a edificios.
- Medida de secciones de convergencias en el túnel existente y en el túnel nuevo.

## 10. Seguridad en túneles

Tal y como se ha indicado en apartados precedentes, el tránsito bajo la A-1 se resuelve con un tramo excavado en mina de unos 85 m, junto con sendos túneles artificiales a ambos lados de los emboquilles que en conjunto suponen una longitud del túnel de aproximadamente 268 m.

En este apartado se justifica el grado de cumplimiento de los requerimientos de seguridad definidos en el marco normativo a continuación referenciado:

- Especificación técnica de interoperabilidad relativa a la seguridad en los túneles ferroviarios del sistema ferroviario de la Unión Europea. Reglamento nº 1303/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014.
- Corrección de errores del Reglamento (UE) nº 1303/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a la «seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- En lo que respecta a aspectos de diseño de túneles se adoptará como referencia la norma de ADIF de Plataforma NAP 2-3-1.0 de julio de 2015.

Por tratarse de un túnel de escasa longitud los requerimientos en materia de seguridad son moderados, mostrándose en el siguiente Cuadro las comprobaciones realizadas para verificar la viabilidad de la solución en túnel.

Por idénticas razones, la necesidad de Instalaciones en el túnel se reducen a la señalización de las salidas de emergencia, lo que supone la implantación de señales de evacuación hacia las bocas del túnel con una separación de 50 m. Por tanto, el coste de las instalaciones en el global del túnel será prácticamente residual.



CARACTERÍSTICA A EVALUAR	ARTÍCULO	PARÁMETROS A CUMPLIR	VALORES ADOPTADOS EN PROYECTO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Prevención del acceso no autorizado a las salidas de emergencia y a las salas técnicas	4.2.1.1	Esta especificación se aplica a todos los túneles. a) Se debe impedir el acceso no autorizado a las salas técnicas. b) Cuando se bloqueen las salidas de emergencia por motivos de seguridad, debe garantizarse que siempre se puedan abrir desde dentro.	No resulta necesario incluir salidas de emergencia. El diseño de las salas técnicas no compromete la viabilidad de un futuro Proyecto de plataforma.	No aplica	
Resistencia al fuego de las estructuras de túnel	4.2.1.2.	Esta especificación se aplica a todos los túneles. a) En caso de incendio, la integridad del revestimiento del túnel se mantendrá por un período de tiempo lo suficientemente largo como para permitir el autorrescate, la evacuación de los pasajeros y del personal del tren, así como la intervención de los servicios de intervención en emergencias. Dicho período de tiempo se ajustará a lo dispuesto en los escenarios de evacuación recogidos y descritos en el plan de emergencia. b) En los casos de túneles sumergidos o que puedan provocar el desplome de estructuras cercanas importantes, la estructura resistente del túnel deberá soportar la temperatura del fuego durante un período de tiempo suficiente para que se realice la evacuación de las zonas de túnel dañadas y de las estructuras cercanas. Dicho período de tiempo se especificará en el plan de emergencia.	El túnel objeto de evaluación en este estudio presenta revestimientos de hormigón/hormigón armado. Con los recubrimientos habituales en este tipo de elementos estructurales, el método simplificado de la "isoterma 500" contemplado en la norma española EHE y EC-2 permite validar la integridad de la estructura para permitir la evacuación e intervención de los servicios de emergencias.	Cumple	
Reacción al fuego de los materiales de construcción	4.2.1.3.	Esta especificación se aplica a todos los túneles. a) Esta especificación se aplica a los productos y materiales de construcción del interior de los túneles. b) El material de construcción del túnel cumplirá los requisitos de la clase A2 de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión. Los paneles no estructurales y demás equipamiento cumplirán los requisitos de la clase B de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión. c) Se enumerarán los materiales que no contribuyan significativamente a una carga de fuego. Dichos materiales no están obligados a cumplir con lo anteriormente mencionado	No se consideran elementos de revestimiento dispuestos sobre el revestimiento de hormigón que contribuyan a la carga de fuego.	Cumple	
Detección de incendios en las salas técnicas	4.2.1.4.	Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. Las salas técnicas estarán equipadas con detectores que alerten al administrador de la infraestructura en caso de incendio.	Por ser la longitud del túnel inferior a 1 km no aplica esta especificación.	No aplica	
Zona segura	4.2.1.5.1.	Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. a) Una zona segura permitirá la evacuación de los trenes que utilicen el túnel. Tendrá una capacidad acorde con la capacidad máxima de los trenes que se prevea que circulen en la línea donde se localiza el túnel. b) La zona segura garantizará condiciones de supervivencia para pasajeros y personal del tren durante el tiempo necesario para realizar una evacuación completa desde la zona segura hasta el lugar seguro final. c) En caso de zonas seguras subterráneas o submarinas, las instalaciones permitirán que las personas se desplacen desde la zona segura hasta la superficie sin tener que volver a entrar en el tubo afectado del túnel. d) El diseño de una zona segura y su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación.	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	

CARACTERÍSTICA A EVALUAR	ARTÍCULO	PARÁMETROS A CUMPLIR	VALORES ADOPTADOS EN PROYECTO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Acceso a la zona segura	4.2.1.5.2.	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.</p> <p>a) Las zonas seguras serán accesibles para las personas que inicien la auto-evacuación desde el tren, así como para los servicios de intervención en emergencias.</p> <p>b) Se elegirá una de las siguientes soluciones para el acceso desde el tren hasta la zona segura:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales. Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1 000 m;</li> <li>2) galerías de conexión transversales entre tubos independientes y contiguos del túnel que permitan utilizar el tubo contiguo del túnel como zona segura. Deberán disponerse estas galerías transversales, como mínimo, cada 500 m;</li> <li>3) se permiten soluciones técnicas alternativas que proporcionen una zona segura con un nivel de seguridad, como mínimo, equivalente. El nivel de seguridad equivalente para pasajeros y personal del tren se verificará mediante el método común de seguridad para la evaluación del riesgo.</li> </ol> <p>c) Las puertas de acceso desde el pasillo de evacuación a la zona segura tendrán una abertura libre de al menos 1,4 m de ancho por 2 m de alto. De manera alternativa, se permite utilizar múltiples puertas contiguas de menor anchura siempre que se verifique que la capacidad total de paso de personas es equivalente o superior.</p> <p>d) Una vez atravesadas las puertas, la abertura libre deberá seguir siendo de al menos 1,5 m de ancho por 2,25 m de alto.</p> <p>e) Se describirá en el plan de emergencia el modo en que los servicios de intervención en emergencias accederán a la zona segura.</p>	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	
Medios de comunicación en zonas seguras	4.2.1.5.3	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.</p> <p>La comunicación será posible, bien por teléfono móvil, bien mediante conexión fija, entre las zonas seguras subterráneas y el centro de control del administrador de la infraestructura.</p>	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	
Alumbrado de emergencia en las rutas de evacuación	4.2.1.5.4.	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.</p> <p>a) Se instalará alumbrado de emergencia para guiar a los pasajeros y al personal del tren hacia una zona segura en caso de emergencia.</p> <p>b) La iluminación deberá cumplir los siguientes requisitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) en tubo de vía única: en el lado del pasillo de evacuación;</li> <li>2) en tubo de vías múltiples: en ambos lados del tubo;</li> <li>3) posición de las luces: <ul style="list-style-type: none"> <li>— por encima del pasillo de evacuación, lo más bajo posible, y de forma que no interrumpen el espacio libre para el paso de personas, o bien</li> <li>— integradas en los pasamanos;</li> </ul> </li> <li>4) la iluminancia deberá mantenerse en el tiempo en al menos 1 lux en cualquier punto del plano horizontal a nivel del pasillo.</li> </ol> <p>c) Autonomía y fiabilidad: deberá disponerse de un suministro eléctrico alternativo durante un período de tiempo apropiado tras la interrupción del suministro eléctrico principal. El tiempo requerido deberá adecuarse a los escenarios de evacuación y estar definido en el plan de emergencia.</p> <p>d) Si las luces de emergencia se desconectan en condiciones normales de funcionamiento, será posible encenderlas por los dos medios siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) manualmente desde el interior del túnel a intervalos de 250 m;</li> <li>2) por el explotador del túnel mediante control remoto</li> </ol>	El túnel tiene una longitud inferior a 0,5 km.	No aplica	

CARACTERÍSTICA A EVALUAR	ARTÍCULO	PARÁMETROS A CUMPLIR	VALORES ADOPTADOS EN PROYECTO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Señalización de evacuación	4.2.1.5.5.	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles.</p> <p>a) La señalización de la evacuación indicará las salidas de emergencia, la distancia a la zona segura y la dirección hacia esta.</p> <p>b) Todas las señales se ajustarán a las disposiciones de la Directiva 92/58/CEE, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo y a lo especificado en el apéndice A, índice nº 1.</p> <p>c) Las señales de evacuación se instalarán en los hastiales a lo largo de los pasillos de evacuación.</p> <p>d) La distancia máxima entre las señales de evacuación será 50 m.</p> <p>e) Se instalarán señales en el túnel para indicar la posición del equipamiento de emergencia, en los lugares donde esté situado dicho equipamiento.</p> <p>f) Todas las puertas que conduzcan a salidas de emergencia o galerías de conexión transversal estarán señalizadas.</p>	Aspectos a verificar en un futuro Proyecto de Instalaciones, no condicionando la viabilidad de la Obra Civil.	No aplica	Aspectos a verificar en un futuro Proyecto de Instalaciones, no condicionando la viabilidad de la Obra Civil.
Pasillos de evacuación	4.2.1.6.	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.</p> <p>a) Se construirán pasillos de evacuación en los túneles de vía única, como mínimo, a un lado de la vía, y en los túneles de vías múltiples, a ambos lados del túnel. En los túneles con más de dos vías, será posible el acceso a un pasillo de evacuación desde cada vía.</p> <p>1) La anchura del pasillo de evacuación será de al menos 0,8 m.</p> <p>2) La altura libre mínima por encima del pasillo de evacuación será de 2,25 m.</p> <p>3) La altura del pasillo estará al nivel de la parte superior del carril o incluso más alto.</p> <p>4) Se evitarán estrechamientos locales provocados por obstáculos dentro del gálibo de evacuación. La presencia de obstáculos no reducirá la anchura mínima a menos de 0,7 m y la longitud del obstáculo no superará los 2 m.</p> <p>b) Se instalarán pasamanos continuos entre 0,8 m y 1,1 m por encima del pasillo que marquen el rumbo hacia una zona segura.</p> <p>1) Los pasamanos se colocarán fuera del gálibo libre mínimo del pasillo de evacuación.</p> <p>2) Los pasamanos formarán un ángulo entre 30° y 40° respecto al eje longitudinal del túnel a la entrada y a la salida del obstáculo.</p>	<p>Aunque el túnel presenta una longitud inferior a 0,5 km, incluye:</p> <p>Gálibo de evacuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anchura: 0,80 m</li> <li>- Altura libre mínima por encima del pasillo de evacuación: 2,25 m.</li> </ul> <p>Acera de evacuación a 0,55 m por encima de la cota de carril.</p> <p>Pasamanos a 1 m de altura por encima del pasillo de evacuación.</p> <p>Pasamanos situado fuera del gálibo libre mínimo del pasillo de evacuación.</p>	No aplica	



CARACTERÍSTICA A EVALUAR	ARTÍCULO	PARÁMETROS A CUMPLIR	VALORES ADOPTADOS EN PROYECTO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Puntos de lucha contra incendios	4.2.1.7.	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.</p> <p>a) A los efectos de la presente cláusula, dos o más túneles consecutivos serán considerados como un túnel único, a menos que se cumplan las dos condiciones siguientes:</p> <p>1) la separación a cielo abierto entre ellos supere en más de 100 m la longitud máxima del tren que vaya a circular en la línea, y</p> <p>2) el área a cielo abierto alrededor de la vía y su situación respecto de esta, en el tramo de separación entre los dos túneles, permiten a los pasajeros alejarse del tren hacia un espacio seguro. El espacio seguro deberá tener un tamaño suficiente para acoger a todos los pasajeros correspondientes al tren de mayor capacidad que se prevea que va a circular por la línea.</p> <p>b) Se crearán puntos de lucha contra incendios:</p> <p>1) fuera de ambas bocas de todos los túneles de más de 1 km, y</p> <p>2) dentro del túnel, según la categoría del material rodante previsto para circular.</p> <p>c) Requisitos para todos los puntos de lucha contra incendios:</p> <p>1) los puntos de lucha contra incendios estarán equipados con suministro de agua (de al menos 800 l/min durante dos horas) cerca de los puntos previstos para la detención del tren. El método de suministro del agua se describirá en el plan de emergencia;</p> <p>2) se deberá indicar al maquinista del tren el punto previsto para la detención del tren. Esto no requerirá equipamiento específico a bordo (todos los trenes que cumplan la presente ETI podrán usar el túnel);</p> <p>3) los puntos de lucha contra incendios serán accesibles a los servicios de intervención en emergencias. En el plan de emergencia se describirá la forma en que los servicios de intervención en emergencias accederán al punto de lucha contra incendios y desplegarán el equipo;</p> <p>4) se podrá interrumpir la alimentación eléctrica de tracción y poner a tierra la instalación eléctrica en los puntos de lucha contra incendios, ya sea de forma presencial o por control remoto.</p> <p>d) Requisitos de los puntos de lucha contra incendios situados fuera de las bocas del túnel Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios fuera de las bocas del túnel cumplirán las siguientes condiciones:</p> <p>1) La zona a cielo abierto en torno al punto de lucha contra incendios dispondrá de una superficie de al menos 500 m<sup>2</sup>.</p> <p>e) Requisitos de puntos de lucha contra incendios dentro del túnel Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios dentro del túnel cumplirán las siguientes condiciones:</p> <p>1) Se podrá acceder a una zona segura desde el punto de detención del tren. En las dimensiones de la ruta de evacuación hacia la zona segura se deberá considerar el tiempo de evacuación (según lo especificado en la cláusula 4.2.3.4.1) y la capacidad prevista de los trenes (mencionada en la cláusula 4.2.1.5.1) que vayan a circular por el túnel. Se deberá demostrar que el tamaño de la ruta de evacuación resulta adecuado;</p> <p>2) La zona segura asociada con el punto de lucha contra incendios tendrá una superficie suficiente para que los pasajeros esperen de pie hasta ser evacuados a una zona segura final;</p> <p>3) Existirá un acceso al tren afectado para los servicios de intervención en emergencias sin que tengan que atravesar la zona segura ocupada;</p> <p>4) El diseño del punto de lucha contra incendios y de su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación para acceder a la zona segura.</p>	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	

CARACTERÍSTICA A EVALUAR	ARTÍCULO	PARÁMETROS A CUMPLIR	VALORES ADOPTADOS EN PROYECTO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Comunicaciones de emergencia	4.2.1.8.	Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. a) Deberá haber comunicación por radio entre el tren y el centro de control del administrador de la infraestructura en cada túnel, mediante GSM-R. b) Asimismo, tendrá que haber continuidad por radio para que los servicios de intervención en emergencias se comuniquen in situ con sus centros de mando. El sistema permitirá que los servicios de intervención en emergencias puedan usar su propio equipo de comunicación	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	
Segmentación de la línea aérea de contacto o de los carriles conductores	4.2.2.1.	Esta especificación se aplica a los túneles de más de 5 km de longitud. a) El sistema de alimentación eléctrica de tracción en los túneles estará dividido en secciones, que no deberán rebasar los 5 km. Este requisito se aplica únicamente si el sistema de señalización permite la presencia en el túnel de más de un tren simultáneamente en cada vía. b) Deberá haber un control remoto y la posibilidad de conectar y desconectar cada sección eléctrica independientemente. c) Deberá haber algún medio de comunicación e iluminación en la zona de los interruptores para permitir un accionamiento manual con seguridad del equipo de conmutación, así como su mantenimiento.	El túnel tiene una longitud inferior a 5 km.	No aplica	
Puesta a tierra de la línea aérea de contacto o del carril conductor	4.2.2.2.	Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. a) Se instalarán dispositivos de puesta a tierra en los puntos de acceso al túnel y, si los protocolos permiten la puesta a tierra de una única sección, se instalarán cerca de los puntos de separación entre secciones. Estos serán dispositivos portátiles o instalaciones fijas accionadas manualmente o mediante control remoto. b) Se instalarán los medios de comunicación e iluminación necesarios para las operaciones de puesta a tierra. c) Los procedimientos y responsabilidades para la puesta a tierra serán definidos entre el administrador de la infraestructura y los servicios de intervención en emergencias, basándose en los escenarios de emergencia considerados en el plan de emergencia.	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	
Suministro de energía eléctrica	4.2.2.3.	Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. El sistema de distribución de la energía eléctrica en el túnel estará adaptado a las necesidades del equipamiento de los servicios de intervención en emergencias, conforme arreglo al plan de emergencia del túnel. Algunos grupos de los servicios nacionales de intervención en emergencias podrán ser autosuficientes en lo que se refiere al suministro eléctrico. En este caso, no disponer de instalaciones de suministro eléctrico para uso de estos grupos puede considerarse una opción adecuada. Sin embargo, esta decisión debe describirse en el plan de emergencia.	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	
Requisitos para los cables eléctricos en los túneles	4.2.2.4.	Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. En caso de incendio, los cables expuestos tendrán las siguientes características: baja inflamabilidad, baja capacidad de propagación del fuego, baja toxicidad y baja densidad de humos. Estos requisitos se cumplen si los cables satisfacen como mínimo los requisitos de la clase B2CA, s1a, a1, definidos en la Decisión 2006/751/CE de la Comisión.	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	

CARACTERÍSTICA A EVALUAR	ARTÍCULO	PARÁMETROS A CUMPLIR	VALORES ADOPTADOS EN PROYECTO	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
Fiabilidad de las instalaciones eléctricas	4.2.2.5.	<p>Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.</p> <p>a) Las instalaciones eléctricas importantes para la seguridad (detección de incendios, alumbrado de emergencia, comunicaciones de emergencia y cualquier otro sistema definido por el administrador de la infraestructura o por la entidad contratante como vital para la seguridad de los pasajeros en el túnel) estarán protegidas contra los daños derivados de impactos mecánicos, calor o incendio.</p> <p>b) El sistema de distribución estará diseñado de forma que pueda tolerar daños inevitables, disponiendo, por ejemplo, de doble acometida.</p> <p>c) Autonomía y fiabilidad: un suministro eléctrico alternativo deberá estar disponible durante un período de tiempo apropiado tras la interrupción del suministro eléctrico principal. El tiempo requerido deberá adecuarse a los escenarios de evacuación y estar especificado en el plan de emergencia.</p>	El túnel tiene una longitud inferior a 1 km.	No aplica	