

REGISTRO DE EDICIONES DE DOCUMENTOS

VERSIÓN	FECHA	OBJETO DE LA EDICIÓN	REDACTADO	REVISADO	APROBADO
00	30-09-21	Edición Anejo nº8 Túneles	PCP	CFG	EGF
01	07-12-21	Revisión SGPF	PCP	CFG	PCM

ÍNDICE	9. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES14
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO1	
2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN1	
3. DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN LIBRE AERODINÁMICA DE ACUERDO CON LA E.T.I2	
3.1. Criterio de Salud2	
3.2. Criterio de confort.....3	
4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO – GEOTÉCNICA DE LOS TÚNELES3	
5. SECCIÓN GEOMÉTRICA TIPO4	
6. SALIDAS DE EMERGENCIA Y ZONAS SEGURAS.....5	
7. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS8	
7.1. Métodos de excavación.....8	
7.2. Proceso constructivo8	
7.3. Conclusiones sobre método constructivo10	
7.4. Criterios generales de diseño del sostenimiento y revestimiento.....11	
7.5. Revestimiento12	
7.6. Metodología de diseño de emboquilles y falsos túneles12	
7.6.1. Taludes en suelos13	
7.6.2. Taludes en roca13	
7.6.3. Secciones en túneles artificiales13	
8. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL14	

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El objeto del presente anejo es el análisis de los túneles a implementar en las diferentes alternativas planteadas en el Estudio Informativo de la Línea Ferroviaria de Alta Velocidad Cantábrico – Mediterráneo. Tramo: Castejón-Logroño.

Para la realización del presente estudio se ha tenido en cuenta la Normativa de referencia indicada seguidamente:

- Determinación de las secciones transversales de túneles ferroviarios a partir de consideraciones aerodinámicas. Ficha U.I.C. 779-11; febrero 2005 (2ª edición).
- Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros. Ministerio de Fomento – D.G.F.; 2001.
- Norma ADIF Plataforma Túneles, NAP 2-3-1.0, edición Julio 2015 + M1: Junio 2018
- Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a la “Seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Instrucción Ferroviaria de Gálivos: Orden FOM 1630/2015, de 14 de julio.

Asimismo, se ha dispuesto de la información geológica/geotécnica incluida en el Anejo 4. Geología y geotecnia del presente estudio.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTUACIÓN

En el presente estudio se han desarrollado diversas alternativas por tramos, las cuales una vez combinadas entre sí dan lugar a seis alternativas globales para la actuación.

Seguidamente se incluye una relación de tablas que contienen la denominación, localización y longitud de los túneles situados en las seis alternativas estudiadas.

Tabla 2.1. Alternativa 1 (Alt. 1.2 + 2.1 + 3.1)

DENOMINACIÓN	TIPO	Emboquilles		Longitud (m)
		PK inicio	PK final	
Alt. 2.1. Lodosa	TÚNEL (vía doble)	43.253,00	44.512,00	1.259,00
Alt. 2.1. Alcanadre 1	TÚNEL (vía doble)	49.962,00	50.312,00	350,00
Alt. 2.1. Alcanadre 2	TÚNEL (vía doble)	50.373,00	52.310,00	1.937,00
TOTAL				3.546,00

Tabla 2.2. Alternativa 2 (Alt. 1.2 + 2.2 + 3.1)

DENOMINACIÓN	TIPO	Emboquilles		Longitud (m)
		PK inicio	PK final	
Alt. 2.2. Lodosa	TÚNEL (vía doble)	42.653,00	44.519,00	1.866,00
Alt. 2.2. Alcanadre 1	TÚNEL (vía doble)	46.942,00	50.219,00	3.277,00
Alt. 2.2. Alcanadre 2	TÚNEL (vía doble)	51.215,00	53.258,00	2.043,00
TOTAL				7.186,00

Tabla 2.3. Alternativa 3 (1.2 + 2.3 + 3.1)

DENOMINACIÓN	TIPO	Emboquilles		Longitud (m)
		PK inicio	PK final	
Alt. 2.3. Alcanadre 1	TÚNEL (vía doble)	45.486,00	45.702,00	216,00
Alt. 2.3. Alcanadre 2	TÚNEL (vía doble)	50.409,00	52.277,00	1.868,00
TOTAL				2.084,00

Tabla 2.4. Alternativa 4 (Alt. 1.2 + 2.1 + 3.2)

DENOMINACIÓN	TIPO	Emboquilles		Longitud (m)
		PK inicio	PK final	
Alt. 2.1. Lodosa	TÚNEL (vía doble)	43.253,00	44.512,00	1.259,00
Alt. 2.1. Alcanadre 1	TÚNEL (vía doble)	49.962,00	50.312,00	350,00
Alt. 2.1. Alcanadre 2	TÚNEL (vía doble)	50.373,00	52.310,00	1.937,00
TOTAL				3.546,00

Tabla 2.5. Alternativa 5 (Alt. 1.2 + 2.2 + 3.2)

DENOMINACIÓN	TIPO	Emboquilles		Longitud (m)
		PK inicio	PK final	
Alt. 2.2. Lodosa	TÚNEL (vía doble)	42.653,00	44.519,00	1.866,00
Alt. 2.2. Alcanadre 1	TÚNEL (vía doble)	46.942,00	50.219,00	3.277,00
Alt. 2.2. Alcanadre 2	TÚNEL (vía doble)	51.215,00	53.258,00	2.043,00
	TOTAL			7.186,00

Tabla 2.6. Alternativa 6 (Alt.1.2 + 2.3 + 3.2)

DENOMINACIÓN	TIPO	Emboquilles		Longitud (m)
		PK inicio	PK final	
Alt. 2.3. Alcanadre 1	TÚNEL (vía doble)	45.486,00	45.702,00	216,00
Alt. 2.3. Alcanadre 2	TÚNEL (vía doble)	50.409,00	52.277,00	1.868,00
	TOTAL			2.084,00

La tabla siguiente incluye las longitudes totales de los túneles localizados en las alternativas estudiadas:

Tabla 2.7. Resumen de túneles según las diferentes alternativas

Denominación	Túnel vía doble
	(m)
ALTERNATIVA 1.2 + 2.1 + 3.1	3.546,00
ALTERNATIVA 1.2 + 2.2 + 3.1	7.186,00
ALTERNATIVA 1.2 + 2.3 + 3.1	2.084,00
ALTERNATIVA 1.2 + 2.1 + 3.2	3.546,00
ALTERNATIVA 1.2 + 2.2 + 3.2	7.186,00
ALTERNATIVA 1.2 + 2.3 + 3.2	2.084,00

3. DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN LIBRE AERODINÁMICA DE ACUERDO CON LA E.T.I

3.1. Criterio de Salud

Para el criterio de salud, tal y como indica en ETI de Infraestructura, cualquier túnel o estructura subterránea que tenga que utilizarse a velocidades iguales o superiores a 200 km/h tendrá que garantizar que la variación máxima de presión (pico a pico), causada por el paso de un tren a la velocidad máxima permitida en el túnel, no exceda de 10 kPa durante el tiempo necesario para que el tren pase por el túnel.

Los criterios de aplicación en la comprobación del criterio de salud son:

- Para comprobar el criterio de salud es necesario realizar cálculos específicos con los programas DBTUNNEL, THERMOTUN o similares, con el fin de determinar el área libre del túnel que satisfaga dicho criterio.
- El tren de cálculo será el tren interoperable definido en la ETI de Material Rodante. Tren de sección transversal 12 m², longitud máxima 400 m y con la firma aerodinámica definida por la “curva característica tren-túnel-presión en una posición fija en un túnel” (valores aerodinámicos del tren a considerar en los programas) de la Norma EN 14067-5.
- En túneles de vía doble se analizará el caso de cruce de dos trenes no estancos a la velocidad de proyecto incrementada en un 10% si el resultado es inferior, con un mínimo de 220 km/h (velocidad de proyecto), y con el desfase a la entrada pésimo (máximas variaciones de presión pico a pico). Se analizarán las longitudes de trenes más críticas en función de la longitud del túnel (100, 200 y 400m).
- En cualquier caso, la máxima variación de presión no debe superar los 10 kPa durante todo el tránsito del tren en el túnel, incluida la diferencia de presión debida a la declividad del túnel.
- Según la norma EN 14067-5, la franja temporal adecuada y suficiente para captar los picos es $\Delta t \leq L_{tu}/5c$, siendo L_{tu} la longitud del túnel y “c” la velocidad del sonido. En túneles de vía doble, se simulará el cruce de los dos trenes durante todo el tránsito de los mismos en el interior del túnel con intervalos de desfase citado, partiendo de una entrada simultánea hasta la salida de uno de los trenes.

- Una vez se ha determinado la sección que cumple con el criterio de salud, se le aplicará el criterio de confort y en caso de que cumpla se dará por válida.

3.2. Criterio de confort

Con el criterio de confort se pretende limitar la variación de presión en el interior de los trenes, realizándose los cálculos a una situación límite habitual de explotación, sin considerarse casos extremos poco frecuentes, que quedarán cubiertos por el criterio de salud.

Los criterios de aplicación en la comprobación del criterio de confort son los siguientes:

- En túneles de vía doble se considera el cruce de dos trenes, con el desfase pésimo, uno de alta velocidad a la velocidad de proyecto incrementada en un 10% si el resultado es inferior a 300km/h, y con un mínimo de 220 km/h, y otro convencional a 220 km/h (admitiéndose un tren no estanco con una estanqueidad pasiva de 0,5 s al no tener ventanas practicables) limitándose a 4kpa en 4 segundos la máxima variación de presión que puede experimentar el tren convencional.
- Adicionalmente al cálculo anterior, para el confort de los trenes estancos, se calculará con un tren de estanqueidad 6 segundos. las presiones experimentadas por los viajeros o la tripulación que no deberán exceder los siguientes límites:
 - kPa en un periodo de 1 s
 - 1.6 kPa en un periodo de 3 s
 - 2 kPa en un periodo de 10 s
 - 3.0 kPa durante todo el tránsito del tren en el túnel
- Tanto el tren como los niveles de confort deben cumplir con las “Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros” del Ministerio de Fomento (2011).
- La Ficha UIC 779-11, solo está recomendada para prediseño, según indica la propia ficha. En ningún caso podrá justificarse la sección libre de un túnel mediante su aplicación para el criterio de salud.

4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO – GEOTÉCNICA DE LOS TÚNELES

Tal y como se ha recogido en el apartado 2, los túneles que se implementan en el estudio se sitúan en las alternativas correspondientes al tramo 2: alternativa 2.1., alternativa 2.2 y alternativa 2.3.

Para la caracterización del de los macizos rocosos y sus propiedades geomecánicas, para su aplicación en los túneles del estudio, se considera la clasificación RMR desarrollada por Bieniawski, que es un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índice de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles.

La clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Para cada macizo rocosos se le asigna una calidad y unas características geotécnicas en función del valor de índice de calidad RMR estimado. En el cuadro siguiente se muestra la clasificación del macizo rocoso.

Tabla 4.1. Calidad el macizo rocoso en relación al RMR

Clase	Calidad	Variación RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	>4 kg/cm²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm²	15°-25°
V	Muy mala	<21	<1 kg/cm²	<15°

A partir de los datos de sondeos y de afloramientos en la zona estudio se ha realizado una caracterización de los macizos rocosos formados por argilitas con yesos y margas (G-3), que afloran en la zona comprendida por las alternativas 2.1, alternativa 2.2 y alternativa 2.3 donde se

ubican los túneles proyectados en el Estudio Informativo. Esta caracterización se encuentra desarrollada en el apartado 6 del Anejo 4. Geología y geotecnia, resultando una clasificación geomecánica RMR de Bieniawski realizada a partir de los datos de afloramiento y testificación de sondeos como un macizo de Clase III (RMR=41-60).

Tabla 4.2. Clasificación RMR del macizo rocoso G3

Clase	Calidad	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión	Ángulo de rozamiento
III	Media	1 semana con 5 m de vano	2-3 kg/cm ²	25°-35°

5. SECCIÓN GEOMÉTRICA TIPO

Para cada túnel específico, una vez fijada la sección libre, se diseñará su sección geométrica. A los condicionantes ya citados, hidrogeológicos y en especial de trazado (sección tipo de la plataforma), se añade el del gálibo ferroviario y, por otra parte, la consideración técnico-económica de utilizar el menor número posible de secciones distintas en los túneles de un mismo subtramo.

Dadas las distintas soluciones posibles para una misma sección libre total, el proyectista deberá presentar en el Proyecto Básico de la alternativa seleccionada la sección geométrica totalmente definida, incluido dimensiones de soleras, aceras, colectores, etc., respetando lo especificado en los Reglamentos (UE) nº 1303/2014 “ETI de Seguridad en túneles y el Reglamento (UE) nº 1299/2014 “ETI de Infraestructura”,(DOUE 12/12/2014).

En el presente estudio se aportan algunas secciones tipo entre las que debería elegirse la apropiada en cada caso como punto de partida. En cualquier caso, el diseño en su conjunto deberá justificarse desde todos los puntos de vista (técnica, funcional y de su carácter de interoperabilidad según el RD 1434/2010).

Figura 5.1. Sección tipo de 85 m2 con solera

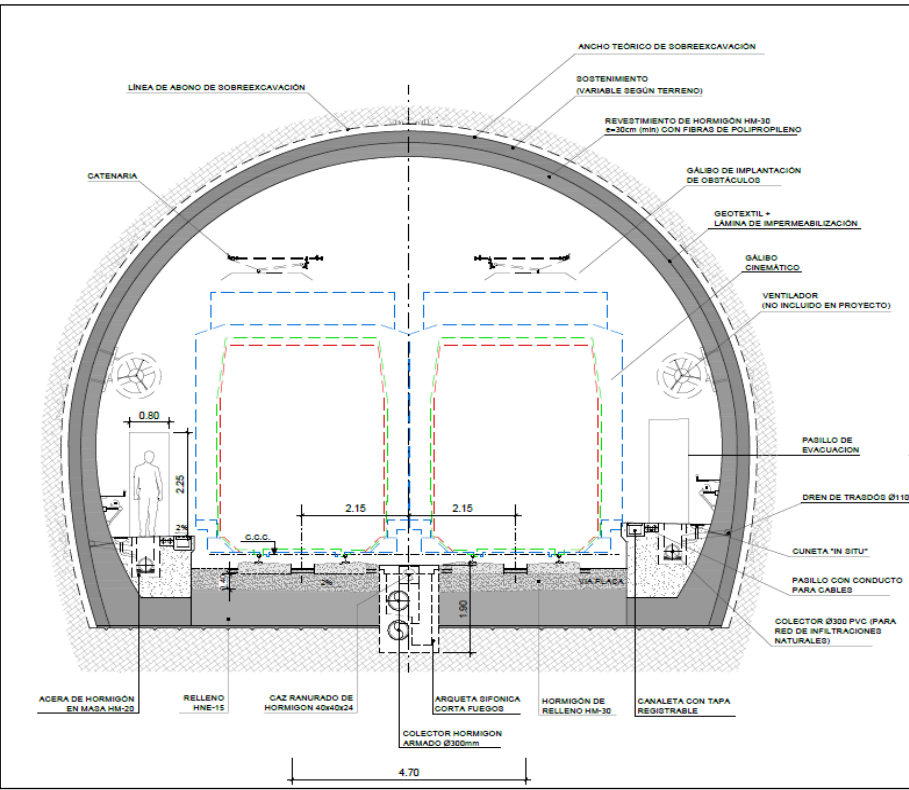
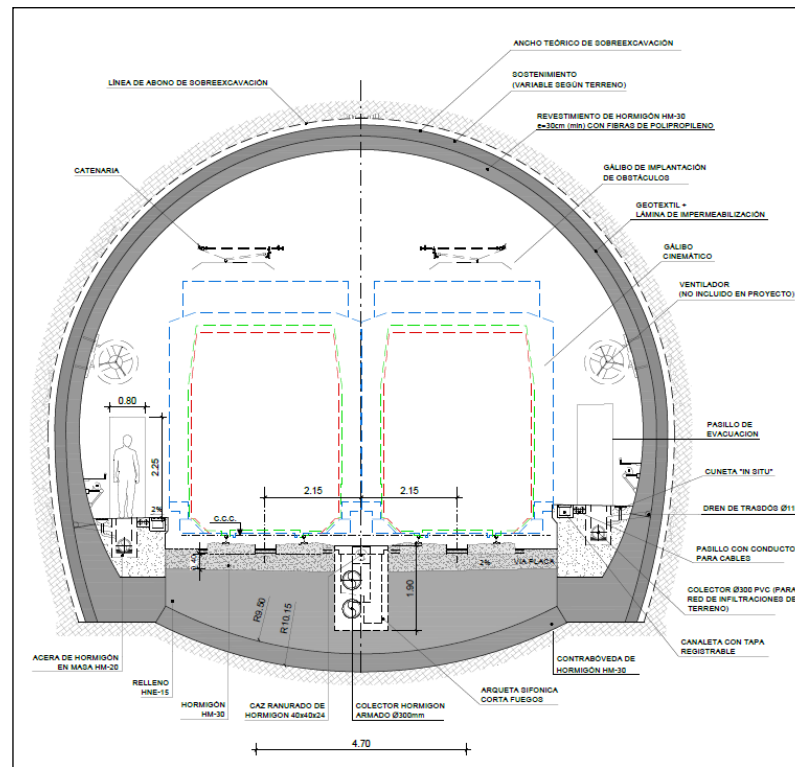


Figura 5.2. Sección tipo de 85 m2 con contrabóveda



Dado que la casuística de los túneles en ADIF y ADIF AV es muy amplia, únicamente se muestran las secciones más representativas que en la actualidad se están construyendo. No obstante, cualquier otro túnel con una sección libre distinta y justificada debería de incorporar, en la medida de lo posible, las instalaciones y equipamientos correspondientes.

El gálibo uniforme GC empleado en las secciones tipo mostradas es coherente con la norma de gálibos UNE-EN 15273:2011 y respeta las especificaciones técnicas de interoperabilidad de los subsistemas de infraestructura, material rodante y energía de los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de Alta Velocidad.

6. SALIDAS DE EMERGENCIA Y ZONAS SEGURAS

Tal y como recoge la Especificación Técnica de Interoperabilidad (ETI) relativa a la “Seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea, en su artículo “4.2.1.5.2 Acceso a la zona segura”, este apartado se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. De esta forma:

- 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.
- Se elegirá una de las siguientes soluciones para el acceso desde el tren hasta la zona segura:

- Salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales. Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1.000 m;
- 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;
- 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.

Se han definido galerías de evacuación vehiculares en todos aquellos túneles que presenten una longitud mayor a 1.000 m.

Las galerías de emergencia vehiculares se han diseñado para permitir la circulación de dos vehículos en paralelo en su interior, lo que facilitará por un lado la movilidad de la maquinaria que se empleará en su construcción, y por otro la circulación de vehículos en dos sentidos en caso de emergencia.

La sección tipo de la galería de emergencia vehicular posee las siguientes características:

- Ancho mínimo 6,10 m
- Altura mínima 4,73 m

Al igual que en el resto de las secciones tipo, en función del terreno atravesado se dispondrá de una contrabóveda con geometría semicircular, o una solera recta.

Figura 6.1. Sección tipo galería de emergencia con solera

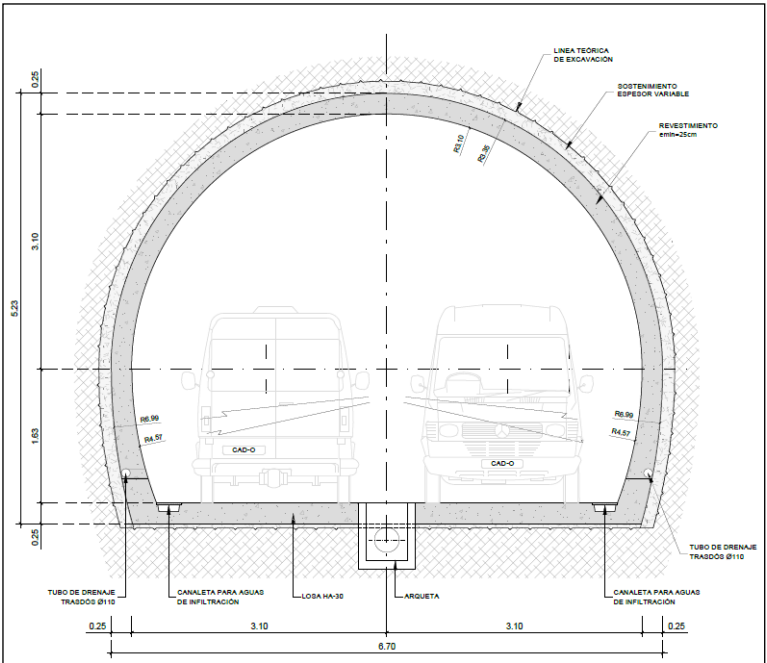


Figura 6.2. Sección tipo galería de emergencia con contrabóveda

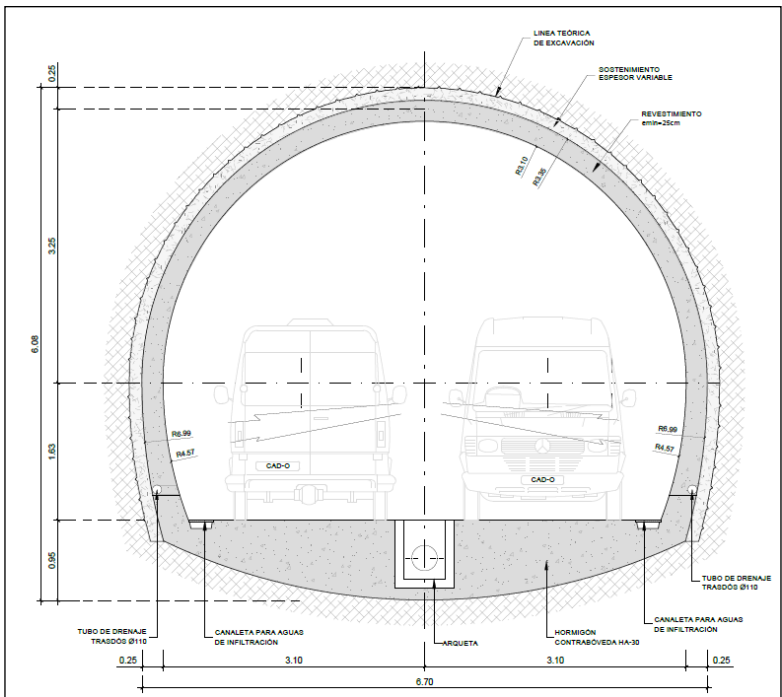
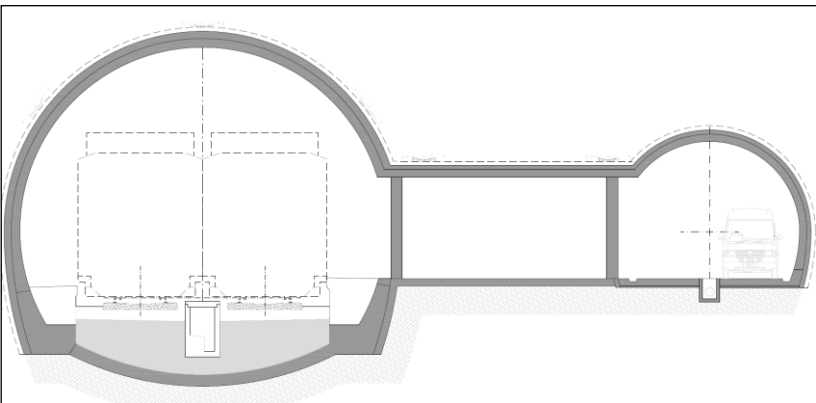


Figura 6.3. Sección de entronque de galería de emergencia con túnel de línea



Seguidamente se incluyen tablas que resumen la localización de las salidas de emergencia y la longitud de las galerías situadas en los túneles de cada una de las alternativas estudiadas.

Tabla 6.1. Alternativa 1 (Alt. 1.2 + 2.1 + 3.1)

Denominación	Túnel Alt. 2.1. Lodosa	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	43.253,00	
Salida emergencia 1	44.053,00	800,00
Boca 2	44.512,00	459,00
Longitud túnel (m)		1.259,00

Galería Emergencia L= 459 m

Denominación	Túnel Alt. 2.1. Alcanadre 1	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	49.962,00	
Boca 2	50.312,00	350,00
Longitud túnel (m)		350,00

Galería Emergencia L= 0 m

Denominación	Túnel Alt. 2.1. Alcanadre 2	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	50.373,00	
Salida emergencia 1	51.341,50	968,50
Boca 2	52.310,00	968,50
Longitud túnel (m)		1.937,00

Galería de emergencia L= 130 m

Tabla 6.2. Alternativa 2 (Alt. 1.2 + 2.2 + 3.1)

Denominación	Túnel Alt. 2.2. Lodosa	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	42.653,00	
Salida emergencia 1	43.136,00	483,00
Salida emergencia 2	43.619,00	483,00
Boca 2	44.519,00	900,00
Longitud túnel (m)		1.866,00

Galería Emergencia L= 966 m

Denominación	Túnel Alt. 2.2. Alcanadre 1	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	46.942,00	
Salida emergencia 1	47.417,40	475,40
Salida emergencia 2	47.892,80	475,40
Salida emergencia 3	48.368,20	475,40
Salida emergencia 4	48.843,60	475,40
Salida emergencia 5	49.319,00	475,40
Boca 2	50.219,00	900,00
Longitud túnel (m)		3.277,00

Galería Emergencia L=2.377 m

Denominación	Túnel Alt. 2.2. Alcanadre 2	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	51.215,00	
Salida emergencia 1	52.015,00	800,00
Salida emergencia 2	52.429,33	414,33
Salida emergencia 3	52.843,67	414,33
Boca 2	53.258,00	414,33
Longitud túnel (m)		2.043,00

Galería Emergencia L= 1.243 m

Tabla 6.3. Alternativa 3 (Alt. 1.2 + 2.3 + 3.1)

Denominación	Túnel Alt. 2.3. Alcanadre 1	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	45.486,00	
Boca 2	45.702,00	216,00
Longitud túnel (m)		216,00

Denominación	Túnel Alt. 2.3. Alcanadre 2	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	50.409,00	
Salida emergencia 1	51.309,00	900,00
Salida emergencia 2	51.793,00	484,00
Boca 2	52.277,00	484,00
Longitud túnel (m)		1.868,00

Galería Emergencia L= 968 m

Tabla 6.4. Alternativa 4 (Alt. 1.2 + 2.1 + 3.2)

Denominación	Túnel Alt. 2.1. Lodosa	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	43.253,00	
Salida emergencia 1	44.053,00	800,00
Boca 2	44.512,00	459,00
Longitud túnel (m)		1.259,00

Galería Emergencia L= 459 m

Denominación	Túnel Alt. 2.1. Alcanadre 1	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	49.962,00	
Boca 2	50.312,00	350,00
Longitud túnel (m)		350,00

Galería Emergencia L= 0 m

Denominación	Túnel Alt. 2.1. Alcanadre 2	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	50.373,00	
Salida emergencia 1	51.341,50	968,50
Boca 2	52.310,00	968,50
Longitud túnel (m)		1.937,00

Galería de emergencia L= 130 m

Tabla 6.5. Alternativa 5 (Alt. 1.2 + 2.2 + 3.2)

Denominación	Túnel Alt. 2.2. Lodosa	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	42.653,00	
Salida emergencia 1	43.136,00	483,00
Salida emergencia 2	43.619,00	483,00
Boca 2	44.519,00	900,00
Longitud túnel (m)		1.866,00

Galería Emergencia L= 966 m

Denominación	Túnel Alt. 2.2. Alcanadre 1	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	46.942,00	
Salida emergencia 1	47.417,40	475,40
Salida emergencia 2	47.892,80	475,40
Salida emergencia 3	48.368,20	475,40
Salida emergencia 4	48.843,60	475,40
Salida emergencia 5	49.319,00	475,40
Boca 2	50.219,00	900,00
Longitud túnel (m)		3.277,00

Galería Emergencia L=2.377 m

Denominación	Túnel Alt. 2.2. Alcanadre 2	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	51.215,00	
Salida emergencia 1	52.015,00	800,00
Salida emergencia 2	52.429,33	414,33
Salida emergencia 3	52.843,67	414,33
Boca 2	53.258,00	414,33
Longitud túnel (m)		2.043,00

Galería Emergencia L= 1.243 m

Tabla 6.6 Alternativa 6 (Alt. 1.2 + 2.3 + 3.2)

Denominación	Túnel Alt. 2.3. Alcanadre 1	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	45.486,00	
Boca 2	45.702,00	216,00
Longitud túnel (m)		216,00

Denominación	Túnel Alt. 2.3. Alcanadre 2	
	PK	Distancia (m)
Boca 1	50.409,00	
Salida emergencia 1	51.309,00	900,00
Salida emergencia 2	51.793,00	484,00
Boca 2	52.277,00	484,00
Longitud túnel (m)		1.868,00

Galería Emergencia L= 968 m

7. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

7.1. Métodos de excavación

Los métodos de excavación de túneles dependen en primer lugar, y de forma fundamental, del tipo de terreno a atravesar. De este modo cabe hablar por separado de la excavación de túneles en roca y de la excavación de túneles en suelos sueltos o terrenos blandos.

La perforación de túneles en terrenos blandos es un tema muy complejo en el que se mezcla la excavación en sí y el tratamiento del terreno, existiendo un gran número de sistemas de ejecución: escudos, precorte mecánico, prebóveda de jet-grouting, congelación, incluso sostenimiento con hormigón proyectado de forma similar a los túneles en roca. Por su parte, la excavación de un túnel en roca puede efectuarse, simplifcadamente, según dos métodos distintos: mediante la utilización de explosivos y por medio de excavación mecánica.

La excavación mediante explosivos, también llamada mediante perforación y voladura, es el método más utilizado para túneles en roca y el único posible cuando la roca es muy abrasiva, muy resistente o se encuentra sana. Básicamente consiste en efectuar unos taladros en el frente de excavación, cargarlos con explosivos y hacerlos detonar.

La excavación mecánica es aquélla que se efectúa por la acción de una máquina que es capaz de arrancar material del frente de excavación. Existen varios sistemas e innumerables marcas y modelos de máquinas distintas y continuamente están apareciendo nuevos modelos cada vez más potentes. La excavación mecánica se usa fundamentalmente en rocas blandas y medias, compartiendo este dominio de utilización con los explosivos.

7.2. Proceso constructivo

Todos los túneles se excavarán en materiales rocosos, aunque en algunos tramos estas rocas pueden encontrarse muy alteradas a suelo. En estas condiciones geotécnicas cabe, a priori, plantear los siguientes métodos constructivos:

Excavación: en principio, podrían aplicarse las siguientes técnicas:

Excavación con **tuneladora**.

Excavación **convencional**, mediante medios mecánicos (excavadoras, rozadoras, etc.) o mediante el empleo de voladuras.

Sostenimiento: pueden emplearse sostenimientos rígidos poco deformables o sostenimientos flexibles. Dentro de cada uno de estos tipos pueden aplicarse diversas posibilidades:

Rígidos, que soportan toda la presión del terreno, no permitiendo que éste sufra deformación.

Dovelas, que se emplean en los casos de excavación con tuneladoras (escudos simples y dobles escudos).

Hormigón bombeado, encofrado contra el terreno mediante el sistema Bernold, que se emplean con sistemas de excavación convencionales.

Flexibles

Hormigón proyectado, que permiten que el terreno se deforme ligeramente, para que de este modo colabore en la estabilidad de la excavación. Este tipo de sostenimiento puede emplearse tanto con tuneladoras (topos abiertos), como en el caso de excavaciones con métodos convencionales.

La combinación de estas técnicas de excavación y sostenimiento conduce a las siguientes configuraciones o “Métodos Constructivos” posibles para los túneles de este Estudio Informativo que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7.1. Alternativas para la ejecución de túneles

			MÉTODOS DE SOSTENIMIENTO		
			Rígidos		Flexibles
			Dovelas (D)	Hormigón Bombeado (HB)	Hormigón Proyectado (HP)
MÉTODOS EXCAVACIÓN	Tuneladora (TBM)		Método 1 (TBM+D)	Método 4 (TBM+HB)	Método 7 (TBM+HP)
	Convencion al (C)	Medios Mecánicos (M)	Método 2 (CM+D)	Método 5 (CM+HB)	Método 8 (CM+HP)
		Voladuras (V)	Método 3 (CV+D)	Método 6 (CV+HB)	Método 9 (CV+HP)

A continuación, se discute la aplicabilidad de cada uno de estos posibles métodos:

Métodos 1, 4 y 7 (TBM+D, TBM+HB y TBM+HP)

Estos tres métodos se caracterizan por el empleo de tuneladora para la excavación de los túneles. Estas máquinas tienen un coste de inversión muy elevado, que se dispara cuando las longitudes de perforación no son lo suficientemente largas, tal como sucede en los túneles de este proyecto. Por ello, y aunque la aplicación de tuneladoras sea técnicamente viable, resultaría económicamente muy gravoso, y además obligaría a retrasar en al menos un año el inicio de la ejecución de los túneles, que se requiere de ese periodo para diseñar y fabricar la maquinaria necesaria.

Foto 7.1. Tuneladoras para tubos gemelos para ejecución Método TBM+D

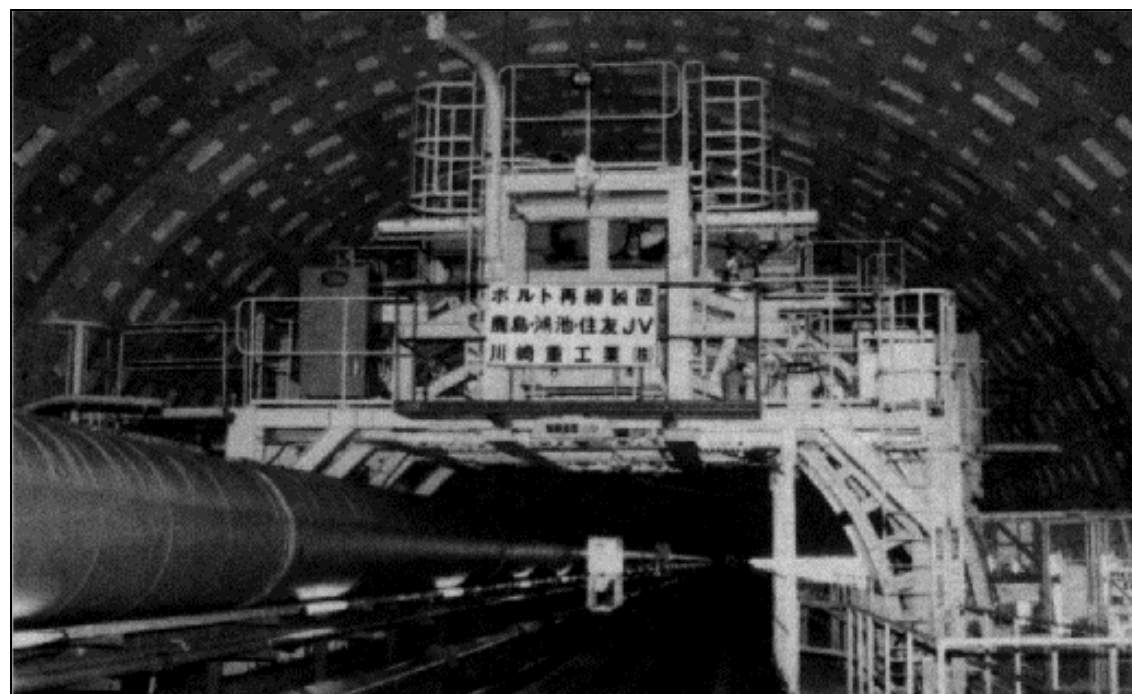


Métodos 2 y 3 (CM+D y CV+D)

Estos dos métodos aplican la excavación con métodos convencionales y un sostenimiento de dovelas. El Método 2, que excava mediante medios mecánicos, se ha aplicado en algunas ocasiones, especialmente en Japón e Italia, para la construcción de cavernas de estación o túneles de sección superior a 20 m de diámetro en terrenos sueltos tipo suelo. Los rendimientos obtenidos son muy bajos (inferiores a 1 m/día) y los costes elevados. Requiere la fabricación de una máquina colocadora de dovelas, especialmente adaptada a cada caso. Este método sólo se considera

adecuado como método de último recurso, en casos en los que la aplicación de otro método no sea posible.

Foto 7.2. Método 2 (CM + D) aplicado a una estación



No se conoce ningún caso de aplicación del **Método 3**, aplicando conjuntamente voladuras y dovelas. En cualquier caso, a los problemas de rendimiento y coste del método 3 habría que añadirle los que ocasionarían las proyecciones y vibraciones de las voladuras sobre las dovelas.

Método 6 (CV +HB)

Este método combina el empleo de voladuras con sostenimientos de hormigón bombeado aplicados contra el terreno y con encofrados perdidos tipo “Bernold”. Las voladuras se emplean normalmente para la excavación de terrenos rocosos. Las rocas, normalmente, no necesitan para su sostenimiento cuantías muy elevadas de hormigón, generalmente en el entorno de 3 a 25 cm. Para las rocas de los túneles de este trazado, se considera suficiente, en principio, ese orden de magnitud de espesores. Con el método Bernold es complicado colocar espesores tan bajos de sostenimiento, siendo más adecuado para colocar espesores superiores a 30 cm. Por ello, si se aplicase Bernold, el sostenimiento estaría sobredimensionado y, al tener que colocar más espesor de hormigón, el rendimiento de colocación del sostenimiento se reduce. Todo ello se traduce en un

túnel más caro y de más lenta ejecución, lo que hace desaconsejar este método a priori, aunque deberá de analizarse con más profundidad en fases posteriores.

Método 9 (CV +HP)

Esta combinación de métodos es la más adecuada para la ejecución de túneles en roca dado que permite colocar fácilmente el sostenimiento y aprovechar mejor la capacidad portante de la roca. Esta metodología constructiva permite adaptarse tanto a terrenos de buena calidad como de media ($RMR > 40$). Para los terrenos más alterados ($Q < 0,7$), la eficiencia de la voladura desciende notablemente, no siendo una técnica de excavación adecuada.

Método 8 (CM +HP)

Esta combinación de métodos, basada en la excavación por medios mecánicos, resulta adecuada en rocas de poca abrasividad, resistencia mecánica media o rocas alteradas y fracturadas ($RMR < 40$). Las rocas más duras y abrasivas son difíciles de excavar con medios mecánicos.

De este modo, el método sería adecuado para la excavación de las formaciones más alteradas y fracturadas ($Q < 0,7$).

El sostenimiento de hormigón proyectado, en el caso de excavación de terrenos alterados y fracturados ($Q < 0,7$), resulta asimismo adecuado, siempre que sea rigidizado mediante la colocación de cerchas metálicas.

Método 5 (CM+HB)

Se trata de una metodología muy adecuada para excavar los terrenos blandos o alterados (suelos o rocas de $Q < 0,7$). En efecto, los terrenos blandos requieren sostenimientos rígidos y pesados para resistir la fuerte presión del terreno. Las voladuras en estos casos no funcionan dado que la energía de la explosión se disipa, siendo más adecuada la excavación mecánica con cazo excavador o rozadora.

7.3. Conclusiones sobre método constructivo

Tras lo expuesto anteriormente, como conclusiones básicas pueden enumerarse las siguientes:

- Aunque desde el punto de vista técnico la aplicación de tuneladoras es viable, no se considera adecuado su empleo (métodos TBM+D, TBM+HB y TBM+HP) ya que estas máquinas tienen

un coste de inversión muy alto, que eleva considerablemente el coste por m³ de excavación cuando las longitudes de perforación no son lo suficientemente largas, tal como sucede en los túneles en estudio.

- El método que emplea hormigón bombeado combinado con excavación mecánica (CM+HB) resulta adecuado para la excavación de los tramos en las litologías más blandas (suelos o rocas $Q < 0,7$). Sin embargo, sólo resultaría adecuado, en cuanto a plazo, para un porcentaje no muy alto de la longitud total de los túneles en roca.
- El método que combina voladuras y hormigón proyectado (CV+HP) es adecuado para rocas de calidad geotécnica media, reduciendo costes e incrementando rendimientos.
- El método que aplica medios mecánicos y hormigón proyectado (CM+HP), resultaría adecuado para la ejecución de los túneles en los litotipos blandos y poco abrasivos, y en los terrenos más alterados y fracturados ($Q < 0,7$).
- Como conclusión final, ***se proponen métodos basados en la aplicación de hormigón proyectado, volando las rocas más duras y excavando con medios mecánicos las litologías más blandas o alteradas y siguiendo la filosofía del Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M).*** En este sentido, resulta preferible la utilización de retroexcavadora dotada de martillo hidráulico debido a su mayor versatilidad frente a la rozadora, pudiendo emplearse en muchas otras labores dentro del túnel.

7.4. Criterios generales de diseño del sostenimiento y revestimiento

La estabilidad de las obras subterráneas en general y de los túneles en particular requiere, en la mayoría de los casos, reforzar la roca o el terreno circundante de modo que quede garantizada su estabilidad a corto y largo plazo, así como su adecuada funcionalidad durante su vida útil. Esto se consigue mediante la aplicación en primer lugar de un sostenimiento que posteriormente es suplementado por un revestimiento en su intradós, que asegura un mejor comportamiento a largo plazo del túnel.

Para definir el sostenimiento aplicado en los túneles de las diferentes alternativas, se deberá tener en consideración la experiencia recogida en los tramos anteriores gestionados y supervisados.

Para el diseño de los sostenimientos y revestimientos utilizados se tendrán en cuenta los siguientes aspectos constructivos:

- La zona de roca que circunda al túnel interviene en la estabilidad de la excavación y es el principal elemento del que depende ésta. Es decir, es la propia roca la que se autosostiene, ya que forma un arco de descarga en torno al túnel que transmite las tensiones a ambos lados de éste.
- Como consecuencia de lo señalado en el punto anterior, conviene mantener inalteradas, en la medida de lo posible, las características de la roca que rodea al túnel. Para ello es beneficioso emplear cualquier técnica de excavación mecánica o, en su defecto, técnicas que suavicen el efecto de las voladuras sobre la roca: recorte, precorte, etc.
- Para facilitar la distribución de tensiones en el anillo de roca que rodea al túnel, se deben diseñar los túneles con formas redondeadas, evitando los puntos angulosos.
- El sostenimiento se colocará de forma que deje deformarse el terreno, siempre dentro de la estabilidad del túnel, con el objeto de que la roca desarrolle su capacidad autoportante. La misión fundamental del sostenimiento es evitar que el terreno pierda propiedades, siendo su misión secundaria aportar su capacidad resistente, que es pequeña en comparación con las grandes presiones que pueden existir en el terreno debido al enorme peso del terreno del recubrimiento.
- En las etapas sucesivas se diseñarán varios tipos de sostenimiento a aplicar según sea la calidad geotécnica de la roca. Durante la obra los sostenimientos se optimizan con la información suministrada por la auscultación y el control geotécnico del túnel.

Foto 7.3. Sostenimientos en fase de avance y destroza de un túnel



7.5. Revestimiento

Una vez completada la excavación y sostenimiento del túnel, se ejecutará un revestimiento de hormigón encofrado. Realmente el revestimiento no es necesario por razones estructurales a corto-medio plazo, ya que esta misión la cumple el sostenimiento provisional, pero su colocación es conveniente por los siguientes motivos:

- El revestimiento aporta un coeficiente de seguridad adicional en la estabilidad de la excavación, colaborando con el sostenimiento a corto plazo. Se garantiza así un factor de seguridad para el caso de problemas no detectados por ejecución o diagnóstico e incrementa la efectividad en caso de procesos reológicos.
- Es una garantía de factor de seguridades caso de deterioro de algún elemento de sostenimiento.
- El revestimiento de hormigón permite, por otra parte, eliminar las labores de mantenimiento y conservación del sostenimiento, crecientes con la edad del túnel, que son, normalmente, muy costosas y que, además, entorpecen el tráfico de vehículos
- La superficie interior el anillo de hormigón favorece en gran medida la circulación del aire a lo largo del túnel.
- El túnel de revestimiento se diseña como un anillo continuo de hormigón en masa. Normalmente no se prevé la colocación de armaduras en la bóveda por razones constructivas y estructurales. Ya que, los momentos flectores que aparecen en la bóveda de los túneles suelen ser pequeños como para no necesitar ninguna armadura. Por otra parte, la complicación constructiva que supone colocar la armadura en la bóveda hace preferir siempre acudir a espesores mayores de hormigón que armar la sección.
- Se preverán un anillo de 30 cm de revestimiento mínimo, ejecutado con hormigón HM-30, dotado de fibra de polipropileno para otorgarle resistencia al fuego.

Foto 7.4. Bombeo de hormigón de revestimiento sobre autocimbra



7.6. Metodología de diseño de emboquilles y falsos túneles

En el presente subapartado se realiza una descripción de la metodología empleada en el estudio de los taludes de las boquillas previstas en el tramo en estudio, así como la descripción de las mismas y las recomendaciones constructivas correspondientes.

Dadas las características de los terrenos afectados, el mecanismo de rotura que pudiera presentarse fundamentalmente en los taludes del tramo será el de rotura por discontinuidades estructurales en el macizo rocoso. Minoritariamente podrán presentarse casos gobernados por el mecanismo de rotura global en los horizontes de suelos afectados.

Foto 7.5. Construcción de un falso túnel



A continuación, se describe la metodología seguida en estos análisis.

7.6.1. Taludes en suelos

En este caso, existe una franja de pequeño espesor que separa la zona inestable de la estable, en la cual se ha alcanzado la máxima resistencia al corte que el terreno es capaz de soportar. Esta franja se asimila a una superficie denominada de rotura o deslizamiento.

Usualmente, suele considerarse que el deslizamiento es circular, produciéndose un giro del sólido rígido respecto a un punto, que es el centro de la línea circular de rotura.

Los métodos de cálculo normalmente empleados para los análisis de estabilidad son los de equilibrio límite, que obtienen la fuerza necesaria para alcanzar el equilibrio. De la comparación de esta fuerza con el valor de la máxima fuerza resistente se deduce el coeficiente de seguridad. En casi todos los métodos de equilibrio límite deben analizarse sucesivas líneas de rotura hasta encontrar la que proporciona el valor del coeficiente de seguridad mínimo.

Dentro de los métodos de equilibrio límite, en este estudio se han seguido los denominados de fajas o rebanadas; en particular los de Bishop y Jambu.

El análisis se puede realizar con ayuda del programa SLIDE, desarrollado por Rocscience Inc.

Este programa calcula el equilibrio plástico que se da en un círculo de rotura predeterminado. Los datos que requiere el programa son:

- la cohesión, ángulo de rozamiento y peso específico de los terrenos;
- la geometría del talud. (Es posible adaptar la geometría prácticamente sin limitaciones, así como considerar distintos terrenos, cada uno de ellos con su geometría y propiedades),
- y la posición del nivel freático. (Es posible considerar un nivel de agua de geometría libre).

El programa SLIDE, calcula en una malla de centros dada por el usuario, el factor de seguridad de los posibles círculos que resultan de variar el radio en cada uno de los centros. Así es posible disponer de los contornos de factores de seguridad, lugar geométrico de los centros de los círculos de rotura, solventándose en parte la limitación de los métodos de equilibrio límite de tener que prefijar el círculo de rotura “a priori”. No obstante, también es posible analizar un círculo determinado.

En todos los análisis de estabilidad global realizados se ha comprobado que el factor de seguridad obtenido fuera igual o superior a 1,5.

7.6.2. Taludes en roca

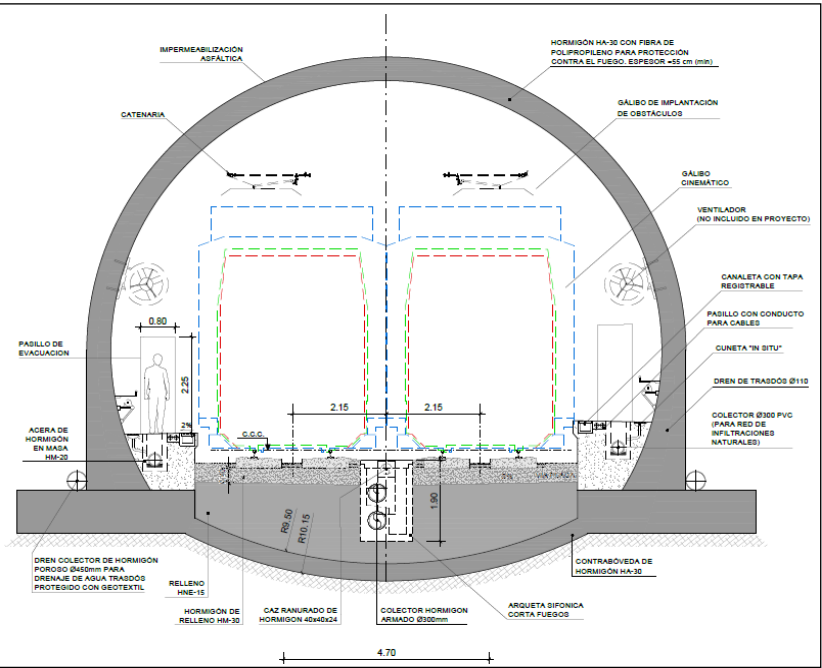
La estabilidad de los taludes que excaven macizos rocosos vendrá condicionada por los mecanismos de rotura que se enumeran a continuación:

- Rotura planar
- Rotura por cuñas/ bloques
- Rotura por vuelco (toppling)

7.6.3. Secciones en túneles artificiales

Al igual que para la sección de túnel en mina, y teniendo en cuenta la sección libre, se diseñará su sección geométrica. A los condicionantes ya citados, hidrogeológicos y en especial de trazado (sección tipo de la plataforma), se añade el del gálibo ferroviario y, por otra parte, la consideración técnico-económica de utilizar el menor número posible de secciones distintas en los túneles de un mismo subtramo. En las siguientes figuras se muestran las secciones de falso túnel o túnel artificial diseñadas.

Figura 7.1. Sección túnel artificial



8. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

La auscultación resulta una herramienta fundamental en los procedimientos constructivos bajo la filosofía del NATM, propuesta para los túneles contemplados en el presente estudio, ya que evalúa la idoneidad de la aplicación de un sostenimiento para un determinado tipo de terreno.

El objetivo de la auscultación es determinar el estado tensional final del macizo en el entorno próximo de la excavación, al alcanzarse la situación de equilibrio, así como evaluar la interacción sostenimiento-terreno.

La auscultación pretende comprobar la aptitud y efectividad de un sostenimiento y reforzar y/o corregir en caso de resultar necesario.

En base a la filosofía del NATM, la correcta ejecución de la obra, con la elección de una determinada longitud de pase o una sección tipo de sostenimiento, requerirá de un control sistemático tanto de los materiales que vayan apareciendo en el frente de excavación, como de las convergencias que se registren en los pases ya ejecutados. Este procedimiento de trabajo permite adaptar el proceso constructivo y el sostenimiento inicialmente previsto, a las condiciones reales del terreno durante la excavación.

Los aspectos a controlar son los siguientes:

- Control geológico y geotécnico del frente de avance y de las destrozadas.
- Comportamiento estructural del sostenimiento y del revestimiento del túnel.
- Movimientos en el terreno.
- Movimientos en edificaciones próximas si las hubiera.
- Medidas de niveles freáticos.

9. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES

Las normas aplicadas en España en relación con la seguridad en los túneles ferroviarios son:

- La Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a «la seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario transeuropeo convencional y de alta velocidad.
- Borrador de la Instrucción para el proyecto y construcción del subsistema de Infraestructura Ferroviaria (IFI-2018)
- Norma ADIF Plataforma Túneles, NAP 2-3-1.0, edición Julio 2015.

El enfoque de la normativa en vigor, incluyendo la ETI «Seguridad en los túneles ferroviarios» se refiere ante todo a la protección de las vidas humanas. Establece una serie de medidas que permiten evacuar a los pasajeros en condiciones de seguridad adecuadas en caso de incidente, así como el acceso a los servicios de emergencia.

La resistencia al hundimiento de la infraestructura está por lo tanto dimensionada tanto para asegurar la evacuación de los pasajeros y del personal como también el acceso a los servicios de emergencia.

A continuación, se indica cada una de las características necesarias a tener por cada uno de los aspectos relacionados anteriormente. Se señala el artículo de la mencionada ETI de Seguridad en Túneles que hace referencia a cada aspecto:

Art. 4.2.1.1. Prevención del acceso no autorizado a las salidas de emergencia y a las salas técnicas:

Esta especificación se aplicará 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.

Art. 4.2.1.2. Resistencia al fuego de las estructuras del túnel:

Esta especificación se aplicará 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 auto rescate, 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.

Art. 4.2.1.3. Reacción al fuego de los materiales de construcción:

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. Estos productos deberán cumplir los requisitos del Reglamento (UE) 2016/364 de la Comisión (*):

- 1) El material de construcción del túnel cumplirá los requisitos de la clase A2.
- 2) Los paneles no estructurales y demás equipamiento cumplirán los requisitos de la clase B.
- 3) Los cables expuestos tendrán como 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.

Si la clase de los cables es inferior a B2ca, s1a, a1, esta podrá ser seleccionada por el administrador de la infraestructura tras una evaluación del riesgo, teniendo en cuenta las características del túnel y el tipo de operación prevista. Para evitar dudas, pueden utilizarse diferentes clases de cables para distintas instalaciones dentro del mismo túnel, siempre que se cumplan los requisitos del presente punto.

b) Se enumerarán los materiales que no contribuyan significativamente a la carga de fuego.

Dichos materiales no están obligados a cumplir con lo indicado anteriormente

(*) Reglamento Delegado (UE) 2016/364 de la Comisión, de 1 de julio de 2015, relativo a la

clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de construcción de conformidad con el Reglamento (UE) n.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 68 de 15.3.2016, p. 4).

Art. 4.2.1.4. Detección de incendios en las salas técnicas:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

a) Los incendios en las salas técnicas deberán detectarse con objeto de alertar al administrador de la infraestructura

Art. 4.2.1.5.1. Zona Segura:

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 autoevacuación.

Art. 4.2.1.5.2 Acceso a la zona segura:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

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.

b) Se elegirá una de las siguientes soluciones para el acceso desde el tren hasta la zona segura:

- 1) salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales. Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1.000 m;

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;

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.

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.

e) Se describirá en el plan de emergencia el modo en que los servicios de intervención en emergencias accederán a la zona segura.

Art. 4.2.1.5.3. Medios de comunicación en zonas seguras:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

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.

Art. 4.2.1.5.4. Alumbrado de emergencia en las rutas de evacuación:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.

a) Se instalará alumbrado de emergencia para guiar a los pasajeros y al personal del tren hacia una zona segura en caso de emergencia.

b) La iluminación deberá cumplir los siguientes requisitos:

- 1) en tubo de vía única: en el lado del pasillo de evacuación;
- 2) en tubo de vías múltiples: en ambos lados del tubo;
- 3) posición de las luces:

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 integradas en los pasamanos; la iluminancia deberá mantenerse en el tiempo en al menos 1 lux en cualquier punto del plano horizontal a nivel del pasillo.

c) Si las luces de emergencia se desconectan en condiciones normales de funcionamiento, será posible encenderlas por los dos medios siguientes:

- 1) manualmente desde el interior del túnel a intervalos de 250 m;
- 2) por el explotador del túnel mediante control remoto.

Art.4.2.1.5.5. Señalización de evacuación:

Esta especificación se aplica a todos los túneles.

a) La señalización de la evacuación indicará las salidas de emergencia, la distancia a la zona segura y la dirección hacia esta.

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.

c) Las señales de evacuación se instalarán en los hastiales a lo largo de los pasillos de evacuación.

d) La distancia máxima entre las señales de evacuación será 50 m.

e) Se instalarán señales en el túnel para indicar la posición del equipamiento de emergencia, en los lugares donde esté situado dicho equipamiento.

f) Todas las puertas que conduzcan a salidas de emergencia o galerías de conexión transversal estarán señalizadas.

Art. 4.2.1.6. Pasillos de evacuación:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.

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.

- 1) La anchura del pasillo de evacuación será de al menos 0,8 m.
- 2) La altura libre mínima por encima del pasillo de evacuación será de 2,25 m.
- 3) La altura del pasillo estará al nivel de la parte del carril o incluso más alto.
- 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.

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.

- 1) Los pasamanos se colocarán fuera del gálibo libre mínimo del pasillo de evacuación.
- 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.

Art. 4.2.1.7. Punto(s) de evacuación y rescate:

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

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:

- 1) la separación a cielo abierto entre ellos supere en más de 100 m la longitud máxima del tren de pasajeros que vaya a circular en la línea, y
- 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 área a cielo abierto. 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.

b) Se crearán puntos de lucha contra incendios:

- 1) fuera de ambas bocas de todos los túneles de más de 1 km,

2) dentro del túnel, según la categoría del material rodante previsto para circular, tal y como se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 9.1. Categoría del material rodante previsto

Categoría del material rodante con arreglo al apartado 4.2.3	Distancia máxima desde las bocas hasta un punto de evacuación y rescate y entre dos puntos de evacuación y rescate
Categoría A	5 km
Categoría B	20 km

c) Requisitos para todos los puntos de lucha contra incendios:

- 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;

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);

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;

4) Se podrá desconectar la corriente y poner a tierra la línea de contacto, ya sea in situ o por control remoto

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:

- 1) La zona a cielo abierto en torno al punto de lucha contra incendios dispondrá de una superficie de al menos 500 m2.

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:

- 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;
- 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;
- 3) existirá un acceso al tren afectado para los servicios de intervención en emergencias sin que tengan que atravesar la zona segura ocupada;
- 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.

4.2.1.8. Comunicaciones de emergencia

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.

Drenaje y evacuación de vertidos (6.2 NAP Adif)

Si como consecuencia de la rasante longitudinal del túnel el agua de escorrentía exterior puede penetrar en su interior, se proyectarán en la boca correspondiente dispositivos de retención de elementos sólidos en suspensión (arena, residuos, etc).

Para la evacuación de vertidos: escorrentía superficial y vertidos líquidos de limpieza, extinción de incendios, etc, **se diseñará una red en sistema separativo en el caso concreto de túneles para tráfico mixto con superestructura de vía en placa.**

Por un lado, las aguas de infiltración se evacuarán mediante caces de dimensión mínima 25 cm y un colector principal de diámetro 30 cm (velocidad de flujo mínima 0,5 m/s) con arquetas de limpieza cada 80 metros como máximo. Las aguas de escorrentía y de vertidos se conducirán mediante un colector principal para caudal mínimo de 100 l/s, disponiendo sumideros sifónicos cada 50 metros, conectados al colector. Se proyectará, asimismo, en puntos bajos del túnel o en el exterior de éste, un depósito estanco para almacenamiento y bombeo de capacidad mínima 100 m³ de características adecuadas: recinto de hormigón armado, visitable mediante acceso por trampilla y pates, espacio de maniobra interior, tubería de salida de gases, etc.

Figura 9.1. Drenaje separativo propuesto

