

# **ANEJO 10 TÚNELES**



**ÍNDICE**

1.	INTRODUCCIÓN .....	1	3.3.3.	Condicionantes constructivos.....	7
2.	GEOTECNIA DE LOS TÚNELES.....	1	3.3.4.	Condicionantes funcionales .....	7
2.1.	INTRODUCCIÓN .....	1	3.4.	MÉTODO CONSTRUCTIVO .....	8
2.2.	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA .....	1	3.5.	PROCEDIMIENTO DE EXCAVACIÓN .....	9
2.2.1.	Terciario: Unidades T <sub>MG</sub> : Margas y limos calcáreos y T <sub>M</sub> :Margas, limos calcáreos y calcarenitas. UG-T2.....	1	3.5.1.	Método de excavación .....	9
2.2.2.	Terciario: Unidad T <sub>S</sub> : Calcarenitas/areniscas calcáreas. UG-T1.....	2	3.5.2.	Fases de excavación.....	10
2.3.	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA DISPONIBLE .....	2	3.5.3.	Longitud de pase.....	11
2.4.	ESTRUCTURA Y TECTÓNICA.....	4	3.6.	SOSTENIMIENTOS PROVISIONALES.....	11
2.5.	HIDROGEOLOGÍA.....	4	3.7.	REVESTIMIENTO DEFINITIVO .....	14
2.6.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	4	3.8.	RIESGOS POTENCIALES A LO LARGO DEL TRAZADO DE LOS TÚNELES	14
2.6.1.	UG-T2.....	4	3.9.	TRATAMIENTOS ESPECIALES .....	15
2.6.2.	UG-T1 .....	4	3.9.1.	Tratamientos para aumentar la longitud del pase .....	15
3.	DISEÑO DE TÚNELES.....	5	3.9.2.	Tratamientos de estabilización del frente .....	16
3.1.	NORMATIVA APLICABLE.....	5	3.9.3.	Tratamientos frente al cierre de sección o hundimientos de la base de los hastiales .....	16
3.2.	TIPOLOGÍA DE TÚNELES.....	5	3.9.4.	Tratamiento de relleno de huecos .....	17
3.3.	SECCIÓN TIPO.....	6	3.9.5.	Otras medidas.....	18
3.3.1.	Condicionantes aerodinámicos.....	6	3.10.	IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE.....	18
3.3.2.	Condicionantes geotécnicos .....	6	3.11.	AUSCULTACIÓN.....	19
			4.	DISEÑO DE GALERÍAS DE EMERGENCIA .....	20

4.1.	NORMATIVA APLICABLE Y CRITERIOS DE DISEÑO .....	20
4.2.	SECCIÓN TIPO .....	21
4.3.	MÉTODO CONSTRUCTIVO .....	22
4.4.	PROCESO DE EXCAVACIÓN .....	22
4.5.	SOSTENIMIENTOS PROVISIONALES.....	22
4.6.	REVESTIMIENTO DEFINITIVO .....	23
4.7.	IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE.....	23
4.8.	ENTRONQUE CON TÚNEL PRINCIPAL .....	23
4.9.	PROPUESTA.....	23
5.	DISEÑO DE EMBOQUILLES .....	24
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	24
5.2.	DISEÑO DEL TALUD FRONTAL DE EMBOQUILLE .....	24
6.	RESUMEN DE ACTUACIONES RECOMENDADAS EN TÚNELES .....	24
7.	FALSOS TÚNELES .....	27
7.1.	FALSOS TÚNELES DE TIPO BÓVEDA.....	27
7.2.	FALSOS TÚNELES ENTRE PANTALLAS .....	27

## **PLANOS**

PLANO 1. PERFIL GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO. TÚNEL DE COLMENARES.

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Sección tipo túnel.....	8
Ilustración 2. Clasificación de terrenos respecto a la excavabilidad (Romana 1994).....	9
Ilustración 3.:Clasificación geomecánica de Bieniawski y medidas de sostenimiento recomendadas. ....	11
Ilustración 4.Clasificación geomecánica de Grimstad, barton y Loset (1993) .....	12
Ilustración 5. Clasificación geomecánica de Romana para sostenimiento de túneles (2001).....	12
Ilustración 6. Sección tipo galería de emergencia Túnel de Colmenares.....	22

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Relación de túneles y obras subterráneas. ....	1
Tabla 2: Sondeos recopilados para el Túnel de Colmenares.....	3
Tabla 3: Penetrómetros dinámicos recopilados para el Túnel de Colmenares. ....	3
Tabla 4: Calicatas recopiladas para el Túnel de Colmenares. ....	3
Tabla 5: Estaciones Geomecánicas realizadas en el entorno del Túnel de Colmenares. 3	
Tabla 6. UG-T2 Propiedades mecánicas de la roca sana .....	4
Tabla 7. UG-T2 Propiedades mecánicas del macizo rocoso.....	4
Tabla 8. UG-T1 Propiedades mecánicas de la roca sana .....	5
Tabla 9. UG-T1 Propiedades mecánicas del macizo rocoso.....	5
Tabla 10: Sección libre propuesta.....	8

Tabla 11: Predimensionamiento de medidas de sostenimiento según recomendaciones en base a clasificaciones geomecánicas.....	13
Tabla 12. Medidas de sostenimiento en base a experiencias similares .....	13
Tabla 13. Criterio de fluencia de Barla (1995) .....	17
Tabla 14. Valores de velocidad diametral de deformación para proceder con el refuerzo del sostenimiento.....	20
Tabla 15. Galerías de emergencia. Situación y longitud.....	23
Tabla 16. Cuadro resumen actuaciones en túneles.....	26
Tabla 17: Tabla resumen de falsos túneles de tipo convencional .....	27
Tabla 18: Tramos entre pantallas características principales .....	27



## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se evalúan desde un punto de vista técnico y económico el túnel resultante del trazado propuesto en los Estudios Complementarios de la Variante de Torrellano.

Este trazado contempla el cruce de la sierra de Colmenares a través de un túnel de vía doble y una longitud de 1040 m. En el emboquille situado más al norte se contempla la ejecución de un falso túnel de 30 metros de longitud mientras que el situado en la zona sur del túnel, se contempla la ejecución de un falso túnel de 170 metros. Además, la salida Sur del túnel coincide con el inicio del ramal de conexión de mercancías que conecta con la infraestructura actual de la línea 336. Esta conexión de ambos ejes, en forma de “telescopio” se podrá resolver mediante una estructura de falso túnel con sección variable, ejecutada a cielo abierto, de manera que se evita la realización de una caverna de grandes dimensiones justo en la zona del emboquille del túnel.

En la zona Norte del trazado, en el entorno de Ciudad de Asís, se contempla la ejecución de un falso túnel entre pantallas de 530 m de longitud entre los PKs 2+630 y 3+160.

En la tabla siguiente se resumen, referidos a su eje de trazado, los distintos tramos de túnel y estructuras subterráneas contemplados en este estudio.

Eje	Denominación	PK Inicio	PK Final	Longitud	Tipología
Entreeje vía general Alacant Terminal-Aeropuerto El Altet	Falso túnel entre pantallas	2+630	3+160	530 m	Falso Túnel entre pantallas
	Falso túnel inicial	8+210	8+240	30 m	Falso túnel
	Túnel de Colmenares	8+240	9+280	1040 m	Túnel
	Falso túnel final	9+280	9+450	170 m	Falso túnel
Ramal de mercancías. Conexión L336	Túnel de Colmenares	0+000	0+170	170 m	Falso túnel

Tabla 1: Relación de túneles y obras subterráneas.

El presente documento se centrará principalmente en el análisis del Túnel de Colmenares.

## 2. GEOTECNIA DE LOS TÚNELES

### 2.1. Introducción

En el *Anejo 4. Geología y Geotecnia*, se incluye una descripción detallada de los materiales que componen el sustrato rocoso atravesado por el túnel diseñado.

El túnel de Colmenares discurre por el macizo terciario que forma la sierra de mismo nombre, afectando a la unidad UG-T2, margas, limos calcáreos y calcarenitas y a la unidad UG-T1, calcarenitas/areniscas calcáreas que se disponen según una estructura bandeada que será atravesada de manera alternante por la excavación del túnel.

### 2.2. Descripción Geológica-Geotécnica

A continuación, se describe desde el punto de vista geológico y geotécnico el túnel definido en el estudio.

*2.2.1. Terciario: Unidades T<sub>MG</sub>: Margas y limos calcáreos y T<sub>M</sub>: Margas, limos calcáreos y calcarenitas. UG-T2*

Constituye el nivel basal del terciario en la zona y su edad se atribuye al Tortoniense – Messiniense.

En campo ha sido observada en afloramientos semicubiertos y de poca superficie, ya que son fácilmente alterables.

Está constituida por bancos de margas grises con sulfatos secundarios y ocasionales, que intercalan niveles dispersos de calcarenitas ocre y grises con laminaciones cruzadas y restos de bioclastos.

Presenta un espesor indeterminado, que según la bibliografía puede llegar a ser de 40m.

Debido a su alterabilidad, ocupan las zonas bajas del relieve, por lo que habitualmente se encuentran cubiertos de los depósitos cuaternarios posteriores.

Al ser materiales impermeables, suelen constituir la base del acuífero libre cuaternario.

En estado sano, presentan una consistencia media-alta, y en general de plasticidad media-baja, aunque dada su sensibilidad a la meteorización, presentan un horizonte de alteración importante, detectado en los sondeos recopilados, donde pasan a arcillas y margas arcillosas de colores marrones amarillentos y grises azulados de hasta 9 m de espesor.

En la cartografía se han diferenciado dentro del Terciario que yace sobre la unidad T<sub>MG</sub> dos conjuntos de materiales caracterizados principalmente por la prevalencia de calcarenitas y areniscas calcáreas sobre las margas y los limos calcáreos, de manera que se han descrito dos unidades dentro del Messiniense que no corresponden con las unidades litoestratigráficas definidas atendiendo a criterios puramente geológicos. Así, desde un punto de vista geológico – geotécnico, se distinguen las unidades denominadas como T<sub>M</sub> y T<sub>S</sub>.

La unidad T<sub>M</sub> está constituida principalmente por margas, limos calcáreos y calcarenitas amarillentas con intercalaciones de margocalizas de colores beige a blanquecinos. Las margas y los limos calcáreos son algo abigarradas, y son fácilmente deleznales, presentando un aspecto terroso y muy poroso. Las margocalizas en ocasiones son arenosas y, al igual que las calcarenitas, pueden mostrar laminación cruzada.

En los sondeos se presentan tramos de menor litificación o con intercalaciones calcareníticas finas, que se han testificado como zonas gravosas o fracturadas.

Presentan una permeabilidad media a alta según la bibliografía consultada.

En la cartografía geológica realizada se han distinguido tres paquetes principales en la Sierra de Colmenares, los cuales rondan los 15-30 m de potencia, que aparecen intercalados con los de la unidad T<sub>S</sub>.

Hacia el sur aparecen por cambio lateral de facies niveles de arcillas marrones y rojizas de unos 10 m de potencia, aflorando en las cercanías del emboquille sur del túnel de Colmenares. Este cambio lateral hacia materiales menos competentes da lugar a que

hacia el final del corredor el relieve se suavice y se pase a un dominio geomorfológico distinto, perteneciente a la Cuenca del Bajo Segura, por lo que esta unidad es recubierta de materiales cuaternarios pertenecientes al valle del río Vinalopó.

#### 2.2.2. Terciario: Unidad T<sub>S</sub>: Calcarenitas/areniscas calcáreas. UG-T1

Esta unidad se define en este proyecto como areniscas calcáreas y calcarenitas de color anaranjado en afloramiento, que pueden presentar niveles de gravas hacia la base de cada paquete. Son de origen costero y marino someras, presentando en la base de los paquetes acumulaciones de cantos redondeados, bioclásticos y gran contenido fosilífero, habiéndose identificado principalmente bivalvos, ostreidos y gasterópodos

La potencia de los paquetes de la unidad es de 10 – 15 m, intercalados entre los de la unidad T<sub>2</sub>. Debido a su mayor competencia, son los responsables de los relieves de la zona, especialmente en la Sierra de Colmenares.

### 2.3. Investigación geotécnica disponible

Para el análisis geotécnico del terreno atravesado por el túnel se dispone de la amplia campaña de sondeos efectuada, tanto en el Estudio Informativo del Proyecto de Remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003) como en el posterior Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009). Si bien el trazado definido en el presente estudio difiere en planta con respecto de los planteados en los documentos de antecedentes, las formaciones atravesadas son las mismas, pudiendo extrapolarse las conclusiones allí obtenidas.

En la tabla siguiente se recogen el total de investigaciones disponibles y sus distancias al eje del estudio actual. Se dispone de 11 sondeos, 4 penetrómetros dinámicos y 8 calicatas, además de los levantamientos de 4 estaciones geomecánicas realizadas en el entorno, todas ellas efectuadas en la formación de calcarenitas.

PROYECTO	SONDEO	Profundidad (m)	DISTANCIA AL EJE (m)
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	S-6+970	25,0	149 MD
	S-7+020	30,1	136 MD
	S-7+050	40,1	128 MD
	S-7+230	70,0	106 MD
Estudio Informativo del Proyecto de Remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003)	S-6+600	50,6	195 MD
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	S-7+380	50,3	125 MD
Estudio Informativo del Proyecto de Remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003)	S-6+920	24,7	114 MD
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	S-7+580	60,5	75 MD
	S-7+790	30,1	58 MD
	S-7+960	16,0	45 MD
Estudio Informativo del Proyecto de Remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003)	S-7+310	10,5	63 MD

Tabla 2: Sondeos recopilados para el Túnel de Colmenares.

PROYECTO	PENETRÓMETROS DINÁMICOS DPSH	Profundidad (m)	DISTANCIA AL EJE (m)
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	P-6+810	8,8	205 MD
	P-6+920	7,3	163 MD
Estudio Informativo del Proyecto de Remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003)	P-6+330	4,0	188 MD
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	P-7+930	1,3	57 MD

Tabla 3: Penetrómetros dinámicos recopilados para el Túnel de Colmenares.

PROYECTO	PENETRÓMETROS DINÁMICOS DPSH	Profundidad (m)	DISTANCIA AL EJE (m)
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	C-6+810	3,4	205 MD
	C-6+920	3,4	163 MD
	C-6+950	1,5	144 MD
	C-6+980	1,0	130 MD
Estudio Informativo del Proyecto de Remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003)	C-6+330	3,4	188 MD
	C-7+000	0,2	135 MD
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	C-7+830	1,6	35 MD
	C-7+930	2,4	57 MD

Tabla 4: Calicatas recopiladas para el Túnel de Colmenares.

PROYECTO	ESTACIONES GEOMECÁNICAS	Litología	UG
Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)	EGM-1	Areniscas calcáreas y calcarenitas terciarias	T2
	EGM-2	Calcarenitas	
	EGM-4	Areniscas terciarias amarillentas	
	EGM-5	Areniscas terciarias	

Tabla 5: Estaciones Geomecánicas realizadas en el entorno del Túnel de Colmenares.

Se dispone de los resultados de diferentes ensayos de laboratorio realizados en muestras tomadas de estos sondeos, así como de un total de 28 ensayos presiométricos.

#### 2.4. Estructura y tectónica

Se ha identificado una falla que afectaría al trazado en el entorno del túnel de Colmenares, concretamente en el PK 8+940. Para la interpretación de falla se ha utilizado la información aportada por los sondeos, la tomografía eléctrica realizada en esta zona y la geomorfología observada en la Sierra. De acuerdo con la investigación realizada se supone que se trata de una falla inversa que no es probable que provoque desplazamientos importantes.

En cuanto a la estratificación, el macizo presenta suaves buzamientos hacia el sureste, que aumentan hacia el emboquille sur, con una cierta presencia de estratificación subhorizontal. El pequeño espaciado que presenta la estratificación y el suave buzamiento que presenta hace poco probable la formación de grandes bloques que pudieran generar inestabilidades de techo plano en el túnel.

#### 2.5. Hidrogeología

En los sondeos realizados en el entorno del túnel no se ha detectado la presencia de un nivel freático, en las profundidades alcanzadas.

Los materiales atravesados alternan capas de permeabilidad moderada (areniscas, calcarenitas) con capas eminentemente impermeables (margas y arcillas margosas).

Predomina la escorrentía superficial sobre la infiltración debido a que las precipitaciones se producen de forma aislada y torrencial.

Con todo esto, no parece probable la presencia de agua freática por encima de la rasante del túnel, salvo, quizás, pequeñas filtraciones estacionales a favor de fracturas o zonas de mayor permeabilidad.

#### 2.6. Caracterización geotécnica

Los materiales atravesados por el Túnel de Colmenares pertenecen a las unidades geotécnicas UG-T1 y UG-T2. Sus valores característicos en la zona se resumen a continuación.

##### 2.6.1. UG-T2

La unidad UG-T2 está constituida por margas, limos calcáreos y calcarenitas amarillentas, que se clasifican como una roca blanda.

Presentan una densidad baja, entre 2,1 y 2,25 t/m<sup>3</sup> situándose el valor medio en 2,16-2,17. En los sondeos recopilados, las margas se presentan en general litificadas a cota de excavación de túnel, con un bajo grado de alteración (GM I-II).

A partir del análisis de las características de estos materiales realizada en el Anejo 4 Geología y Geotecnia, los valores de los parámetros geomecánicos asignados a la unidad T2, se resumen a continuación.

UG-T2_ Roca sana				
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	RCS $\sigma_c$ (MPa)	Ei (MPa)	$\nu$	mi
2,16	7,4	9000	0,2	3,673

Tabla 6. UG-T2 Propiedades mecánicas de la roca sana

UG-T2_Macizo rocoso			
RMR	Cohesión (MPa)	ángulo de rozamiento (°)	Módulo de deformación Em (MPa)
30	0,180	17,3	700

Tabla 7. UG-T2 Propiedades mecánicas del macizo rocoso

##### 2.6.2. UG-T1

Se trata de areniscas calcáreas y calcarenitas de color anaranjado, que pueden presentar niveles de gravas hacia la base de cada paquete. Se encuentran en paquetes de 10 a 15 m de potencia, intercalados con paquetes de margas de la unidad UG-T2.

Presenta características resistentes propias de una roca blanda a media, con grados de meteorización bajos, de GM I-II en los sondeos y en los afloramientos, si bien se ha detectado una zona de mayor meteorización GM IV-V en el sondeo S-7+790 (Proyecto Constructivo del 2009) entre 21 y 30 m de profundidad.

Presenta una densidad seca baja, con valores comprendidos entre 2,1 t/m<sup>3</sup> y 1,6 t/m<sup>3</sup> con un valor medio de 1,86 t/m<sup>3</sup>. Presentan una escasa humedad, con un 6% de media, resultando una densidad aparente promedio de 1,99 t/m<sup>3</sup>, valor que da idea de la elevada porosidad de la roca.

Según los dos ensayos de difracción de rayos X realizados el mineral en mayor porcentaje es la calcita y en menor porcentaje dolomita y cuarzo.

En los afloramientos investigados, presentan una calidad de macizo buena, con un valor de RMR de 52 a 66.

De acuerdo con el análisis realizado en el Anejo 4, las características asignadas a esta unidad geotécnica se resumen en las siguientes tablas.

UG-T1_ Roca sana				
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	RCS $\sigma_c$ (MPa)	Ei (MPa)	v	mi
2,00	8	10000	0,2	4,395

Tabla 8. UG-T1 Propiedades mecánicas de la roca sana

UG-T1_Macizo rocoso			
RMR	Cohesión (MPa)	ángulo de rozamiento (°)	Módulo de deformación Em (MPa)
50	0,290	22,5	2200

Tabla 9. UG-T1 Propiedades mecánicas del macizo rocoso

### 3. DISEÑO DE TÚNELES

#### 3.1. Normativa aplicable

Los túneles ferroviarios requieren una atención especial durante la explotación, para la protección y seguridad de los viajeros y el personal a bordo. Por ello, se debe actuar desde fases iniciales, desde el estudio previo, hasta la entrada en explotación del túnel, ya que ciertas medidas, especialmente de obra civil o equipamiento, pueden ser muy difíciles de aplicar posteriormente si no han sido previstas adecuadamente.

El presente estudio se ajusta a la Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a la “seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea (Reglamento EU 1303/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014 y a la Normativa de ADIF referida a los proyectos de plataforma en túneles (NAP 2-3-1.0 + M1. Versión: junio 2018).

Adicionalmente, se ha considerado como referencia la Instrucción sobre Seguridad en túneles ferroviarios.

#### 3.2. Tipología de túneles

El túnel propuesto para atravesar la Sierra de Colmenares, se plantea sobre vía doble, excepto en el tramo de falso túnel del eje de mercancías que conecta con la infraestructura actual de la línea 336, que es en vía única.

En el caso de los túneles, el número de tubos está condicionado por el análisis de la seguridad, además de por condicionantes de trazado. La Instrucción sobre seguridad en túneles ferroviarios recomienda que los túneles de doble vía sin estaciones subterráneas intermedias, sean proyectados con sección bitubo cuando la longitud sea mayor a 6 km, con objeto de facilitar la evacuación y la actuación de los equipos de intervención, además de eliminar el riesgo de choque por descarrilamiento o cargas desplazadas, y facilitar la ventilación. En el caso de estudio, la longitud del túnel de vía doble no supera en ningún caso los 6 km, por lo que se adoptará una sección de túnel monotubo.

Por otro lado, la normativa vigente referente a la seguridad en los túneles ferroviarios exige que, salvo en zonas urbanas, para túneles de longitud superior a 1 km es necesario la ejecución de salidas de emergencia. Estas salidas deberán estar separadas un máximo de 1.000 m en caso de salidas que conectan directamente con el exterior.

En caso de pasillos transversales a otro túnel o a una galería auxiliar, la separación entre ellos debe ser como máximo de 500 m a fin de poder ser utilizados como zona segura (artículo 4.2.1.5.2 “Acceso a la zona segura”)

Siguiendo lo establecido en el Reglamento 1303/2014, a los efectos de este análisis, se considera como longitud del túnel la definida por la longitud cuya sección transversal está totalmente confinada mediada a nivel de carril. Además, los túneles consecutivos se consideran como un túnel único si NO se cumple uno de los dos requisitos siguientes (art. 4.2.1.7 “Puntos de lucha contra incendios”):

- La separación a cielo abierto entre ellos supere en más de 100 metros la longitud máxima del tren que vaya a circular en la línea
- El área a cielo abierto alrededor de la vía y su situación respecto de esta, en el tramo de separación entre los dos túneles, permita a los pasajeros alejarse del tren hacia un espacio seguro.

### 3.3. Sección tipo

Para optimizar la funcionalidad del túnel debe realizarse un análisis detallado de los condicionantes que afectan a la geometría y dimensiones de la sección tipo. Para definir dicha sección, deben tenerse en cuenta, al menos, los siguientes aspectos clave:

- Condicionantes aerodinámicos: Principal factor que afecta al tamaño de la sección interior en los túneles ferroviarios de alta velocidad. Este factor no es limitante en este caso, pues los itinerarios se definen para tráfico mixto de viajeros y mercancías con velocidades de diseño bajas.
- Condicionantes geotécnicos: Limitación fundamental para la elección de la forma de la sección transversal, con especial atención en el grado de fracturación y

deterioro del macizo rocoso, orientación y características de las discontinuidades, composición y grado de alterabilidad de la roca, condiciones hidrogeológicas, posibles afecciones al macizo rocoso derivadas del método de excavación, etc.

- Condicionantes constructivos: La elección del método constructivo condiciona el tamaño y, sobre todo, la forma de la sección transversal. Se debe considerar, por ejemplo, la accesibilidad de la maquinaria de construcción al lugar de las obras, así como las características de los medios disponibles.
- Condicionantes funcionales: Estos condicionantes influyen en el tamaño de la sección, en cuanto a la necesidad de espacio para la circulación de los trenes (sección tipo de la plataforma y gálibo ferroviario) y la colocación de las instalaciones necesarias, tanto para la explotación del túnel como para asegurar la seguridad en el interior del mismo, de acuerdo con la normativa vigente.

#### 3.3.1. Condicionantes aerodinámicos

El diseño del trazado en este caso se restringe al tráfico mixto de viajeros y mercancías a velocidades convencionales (velocidad inferior a 220 km/h) por lo que las limitaciones de sección mínima, derivados de la pérdida de confort y salud para los viajeros causados por las presiones de aire generadas en el interior de los túneles cuando se circula a alta velocidad no son determinantes en este caso.

#### 3.3.2. Condicionantes geotécnicos

El estado tensodeformacional del terreno en el que se va a realizar la excavación, así como las características geotécnicas del mismo, es un factor importante que afecta en gran medida a la forma geométrica del túnel.

La adopción de secciones de perforación “favorables”, dependientes de las condiciones geotécnicas de los materiales a excavar, permite que las medidas de sostenimiento diseñadas trabajen de manera adecuada optimizándose, por tanto, el refuerzo del túnel. La elección de formas geométricas adecuadas se realiza tratando de buscar que se desarrolle la máxima capacidad del terreno para trabajar como autosoporte.

En general, se atiende a una definición de la sección tipo de un túnel lo más circular posible, 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 (valores del coeficiente de empuje al reposo ( $K_0$ ) mayores a 1,0), se suele recurrir a secciones achatadas, con una mayor luz que la altura de la sección.

La presencia de niveles freáticos o terrenos de mala calidad condicionan el cierre de la sección mediante contrabóveda frente a la solera plana que se dispondría en caso de roca sana (en general para RMR >50) y terrenos secos.

### 3.3.3. *Condicionantes 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 el caso de utilizar máquinas tuneladoras, donde la sección será transversal de radio único. En estos casos, si la sección de túnel debe ser de vía doble, se producen excavaciones muy 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 es habitual tender hacia secciones con bóveda superior curva de radio único, que suele prolongarse hasta cota de carril, definiendo así una sección completamente circular a excepción de la zona inferior, en la que se define una solera con contrabóveda o plana.

Tanto el tamaño como la forma de la sección del túnel se disponen de manera que se permita la accesibilidad hasta el punto de trabajo de los equipos requeridos para la perforación y colocación de los elementos de sostenimiento.

### 3.3.4. *Condicionantes funcionales*

La sección tipo debe cumplir con una serie de condicionantes funcionales, entre los que destacan:

- Satisfacer las necesidades mínimas de gálibos, tanto el cinemático como el de implantación de obstáculos.
- Tolerar el giro de peraltes de la vía.
- Permitir instalar la catenaria de diseño; o dejar previsto el espacio necesario para su futura instalación.
- Permitir instalar ventiladores, en el caso de que se opte por un sistema de ventilación forzada.
- Permitir la instalación de los sistemas de drenaje tanto de las aguas de infiltración como de las aguas de escorrentía y vertidos
- Disponer del espacio suficiente a ambos lados de la plataforma para la colocación de las canalizaciones de cables de las distintas instalaciones.

Según se especifica en la norma de ADIF referida a la definición de la plataforma en túneles (NAP 2-3-1.0 + M1) las características de las aceras deberán cumplir las siguientes características (art. 6.3.1 "Pasillos de evacuación"):

- En túneles de vía doble se dispondrán a ambos lados, dejando libre el gálibo de obstáculos, considerando como idóneo un ancho mínimo de 0,8 m y una altura libre mínima de 2,25 m. El tubo pasamanos estará anclado al hastial, entre 0,80 y 1,10 m por encima de la acera y fuera del gálibo libre mínimo del pasillo de evacuación, especificado también en el apartado 4.2.1.6 "pasillos de evacuación" de la ETI considerada para este análisis.
- En túneles de vía única, se respetarán las mismas características, a un solo lado.

En conclusión, en base a todas las recomendaciones anteriores, la sección tipo considerada para el túnel en este estudio es la siguiente:

- Ancho estándar.
- Entreeje 4 m.
- Gálibo GC.

Tipología	Sección libre (m2)
Túnel vía doble	85

Tabla 10: Sección libre propuesta.

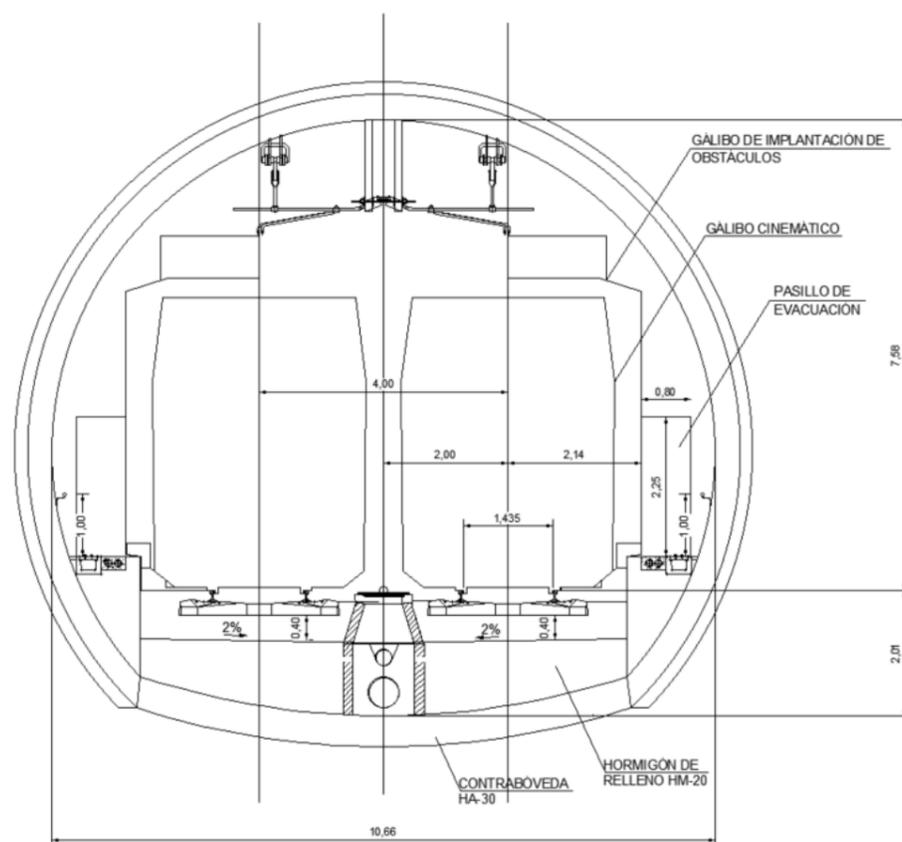


Ilustración 1. Sección tipo túnel

### 3.4. Método constructivo

La selección del método constructivo correcto a la hora de abordar la construcción de un túnel es fundamental para optimizar costes y plazos en la ejecución de la obra. Para su

elección, la primera opción que debe considerarse es la posibilidad de utilizar un método totalmente mecanizado, puesto que es el que obtiene mejores rendimientos y menores costes siempre que sea posible su empleo y que este se ajuste a las características del proyecto. Esta elección está muy condicionada por la longitud y las dimensiones del túnel, según se analiza a continuación.

- Excavación con tuneladora (TBM). Esta metodología permite la excavación mecanizada del túnel al amparo de una estructura rígida y resistente que, introducida dentro del túnel en ejecución, proporcione un área estable y segura en la zona del frente de trabajo. En zonas urbanas, la excavación con tuneladora, incluso en materiales poco competentes bajo el nivel freático, asegura el desarrollo de mínimas subsidencias y daños en superficie, mediante el control preciso de la presión en el frente, el ritmo de extracción de materiales sin pérdida de dicha presión y la velocidad de giro de la cabeza de corte compatible con dicho ritmo de extracción, acondicionando si es necesario el terreno en el frente para mantener un “tapón” de terreno mejorado que facilite la operación en presión de tierras. Además, el uso de tuneladoras permite rendimientos de excavación muy elevados, sobre todo cuando las propiedades del terreno se mantienen constantes a lo largo del trazado del túnel. Sin embargo, la elevada inversión que supone la maquinaria, que suele ser de diseño exclusivo para cada proyecto, no es fácilmente amortizable en una longitud tan pequeña. Además, los plazos de fabricación y montaje de la máquina demoran varios meses, por lo que este sistema comienza a ser viable frente a los métodos convencionales, cuando la longitud del túnel supera los 4-5 km.

Dado que el túnel definido en este proyecto presenta una longitud máxima en el orden de 1 km, la excavación con tuneladora no se considera viable ni económicamente ni en cuanto a plazo en este caso.

- Nuevo Método Austriaco de Construcción de Túneles (NATM). Este método, más bien consiste en una filosofía, basada en una serie de principios básicos, a partir de los cuales se establece un procedimiento constructivo que permite ir excavando y adaptando los métodos de sostenimiento al comportamiento del

terreno observado a través de la instrumentación sistemática del túnel y de la visualización del macizo rocoso atravesado. Se parte de la base de que el propio terreno colabora en la estabilidad de la excavación, mediante la generación de un arco de descarga que transmite las tensiones a ambos lados del túnel. Inmediatamente tras la excavación se dispone de un sostenimiento primario de tipo flexible, de forma que, manteniendo la estabilidad de la excavación, permita la deformación del terreno para que este desarrolle su capacidad de autosoporte. La carga que soporta el sostenimiento dependerá finalmente del momento en el que se coloque tras la excavación. El procedimiento constructivo incluye el control de la estabilidad del frente y la toma de medidas de convergencia del túnel, cuyos resultados, permiten optimizar progresivamente los sostenimientos proyectados en función de la calidad real del terreno atravesado y de la evaluación de su comportamiento deformacional.

Este método presenta como ventaja su gran flexibilidad para adaptar, tanto los métodos de perforación (medios mecánicos convencionales, rozadora, voladura), como las fases de excavación (longitud de pase, avance, destroza) y los tipos de sostenimiento, a las condiciones cambiantes del terreno, lo que le hace muy adecuado para la estratigrafía alternante existente en el macizo que conforma la Sierra de Colmenares.

La secuencia principal del proceso constructivo es la siguiente:

- Excavación y ejecución inmediata de una entibación provisional, sostenimiento provisional.
- Auscultación detallada del comportamiento del túnel, midiendo desplazamientos mediante convergencias, además de deformaciones y tensiones en el terreno.
- Construcción del revestimiento definitivo tras alcanzarse la estabilidad del conjunto terreno-sostenimiento.

### 3.5. Procedimiento de excavación

#### 3.5.1. Método de excavación

Para la determinación del método más adecuado de excavación, se pueden aplicar diferentes clasificaciones realizadas en base a la calidad del macizo rocoso a atravesar, determinado por alguna de las clasificaciones geomecánicas más habituales, como puede ser el índice RMR, GSI, ...

Así, a partir de la resistencia de la roca y su índice RQD (Rock Quality Designation), Romana (1984) establece la siguiente clasificación.

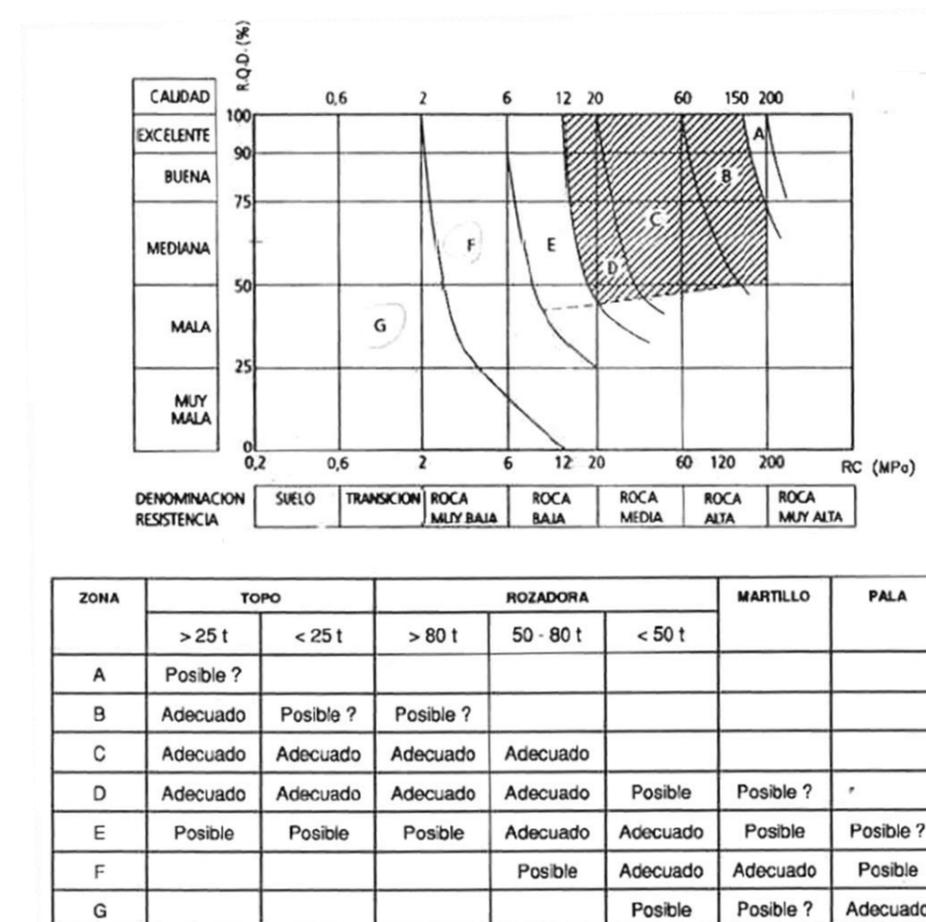


Ilustración 2. Clasificación de terrenos respecto a la excavabilidad (Romana 1994)

Existen también recomendaciones de Romana para la elección del método de excavación más adecuado, a partir del valor del RMR:

- Voladuras (RMR > 40). Es el método más versátil y por lo tanto el más frecuente. Aunque es posible excavar por voladuras terrenos de calidad mala o muy mala, no suele resultar práctico hacerlo. Obviamente la calidad de ejecución resulta capital cuando se utiliza este método de excavación.
- Rozadora (30 < RMR < 90). Teóricamente la rozadora (máquina de ataque puntual y cuerpo bajo y compacto) puede utilizarse con gran variedad de terrenos. Su limitación no es la calidad global del macizo rocoso, sino la resistencia mecánica (a tracción y a compresión) de la roca matriz. La excavación y el sostenimiento (realizados simultáneamente) son mucho más compatibles cuando se trabaja con rozadoras que cuando la excavación se realiza con tuneladora TBM abierta o por voladuras. Por eso, pueden utilizarse rozadoras con roca de mala calidad (20 < RMR < 30) aunque puede resultar más económico el uso de métodos más simples de excavación.
- Fresado (RMR < 30). Cada vez es más frecuente la excavación por fresado con máquinas que montan una fresa de potencia media sobre un brazo de retroexcavadora, tanto para el perfilado final del gálibo, como para la excavación de toda la sección. Su campo son las masas rocosas de calidad media baja a baja (30 < RMR < 50).
- Escarificación / Pala (RMR < 20). Los macizos de calidad muy mala pueden excavar prácticamente como suelos, con palas convencionales y/o escarificarse (método especialmente práctico para la destroza). El método puede utilizarse, con algunas dificultades, hasta la subclase 20 < RMR < 30.

El macizo rocoso atravesado por el Túnel de Colmenares presenta una baja resistencia a compresión simple y abrasividad, por lo que es posible la utilización de diversos métodos de excavación mecánicos, entre los cuales la rozadora sería la elección más habitual. La voladura también podría aplicarse, si bien, su utilización sería limitada a la

aparición de estratos resistentes que presenten gran potencia, con el fin de alterar lo menos posible el macizo rocoso menos competente. En este nivel de estudio, no se han detectado zonas susceptibles de necesitar voladura.

Las zonas de roca blanda (margas) podrían excavar con medios mecánicos convencionales (retroexcavadora + martillo picador).

### 3.5.2. Fases de excavación

Teniendo en cuenta el tamaño de la sección tipo y las características del macizo rocoso, la excavación se realizará en fases de avance y destroza.

La altura de avance debe definirse de tal forma que se permita la maniobrabilidad de la maquinaria de descombro dentro del túnel, y no se dificulten las labores de sostenimiento, especialmente si se requiere el empleo de bulones.

Para garantizar unas condiciones de seguridad suficientes durante la colocación del sostenimiento, inmediatamente después de la excavación de cada avance y previamente a la colocación de la capa de sellado y el inicio de los sostenimientos, se procederá al saneo de la sección excavada para eliminar bloques potencialmente inestables y la parte de materiales "tronados". En esta operación deberá mantenerse un criterio de compromiso entre la retirada de material potencialmente inestable, y la ejecución de un saneo excesivamente enérgico que dé lugar a nuevas inestabilidades de pase y generación de sobreexcavaciones innecesarias.

La destroza deberá ejecutarse, como criterio general, una vez calado el avance del túnel, debido tanto a problemas de tipo geotécnico (al poder influir sobre éste último un frente de destroza demasiado próximo), como de tipo logístico (por ejemplo, sería necesario proteger o desmontar las instalaciones del avance para trabajar en destroza). El ataque simultáneo de avance y destroza, si bien se emplea cuando se requiere acortar plazos, no se considera adecuado, con las características del túnel estudiado, como planteamiento de partida del proyecto.

### 3.5.3. Longitud de pase

La longitud de pase definida en este estudio está asociada a cada tipo de sostenimiento en la medida que éste supone una estimación de la calidad del terreno.

El pase de avance (máxima longitud libre sin sostener) se relaciona directamente con la capacidad de autosoporte del terreno y se establecerá en función de las dimensiones de la sección excavada y de las propiedades geotécnicas de los materiales.

Así, se contemplan longitudes de avance del orden de 1 m en los materiales de la formación T2, que podrá aumentarse a 2-3 m, en las zonas más competentes de la formación T1. El pase en destroza suele considerarse del orden del doble del de avance.

### 3.6. Sostenimientos provisionales

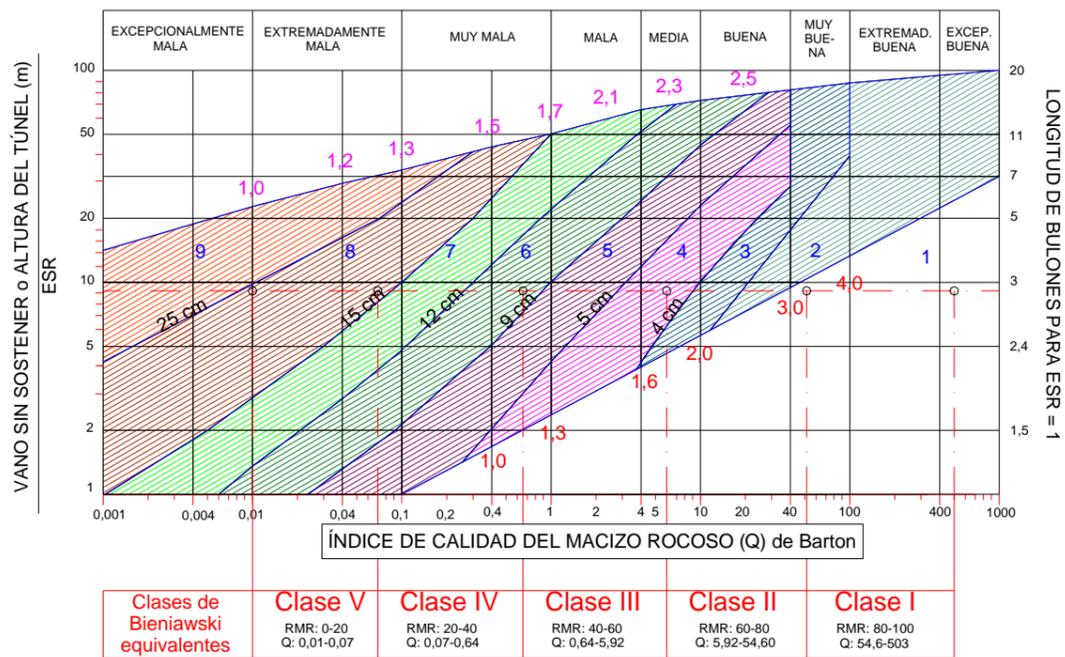
El sostenimiento provisional se compone, generalmente de los siguientes elementos: hormigón proyectado con fibras o con malla de acero electrosoldada, marcos metálicos, y bulones en roca.

El predimensionamiento de los sostenimientos se realiza de forma empírica con base en la experiencia, a partir de la aplicación de las tipologías recomendadas en función de las clasificaciones geomecánicas (Bieniawski (1989), Grimstad, Barton y Loset (1993), Romana (2000), etc). Estas clasificaciones, permiten asignar, en función de la definición de una serie de parámetros medibles, un valor índice característico indicativo de la calidad de la roca para cada macizo rocoso. En función del valor del índice obtenido, se recomienda una tipología de sostenimiento.

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm de diámetro, invertidos).	Soporte con concreto armado	costillas
I. Roca muy Buena, RMR: 81-100	A sección completa. 3 mts. de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II. Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 mts de avance. Soporte completo a 20 mts del frente.	Pernos en la corona de 3 mts. de longitud espaciados a 2.5 mts. malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 mts de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos, 4 mts de longitud, espaciados 1.5-2 mts en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 - 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV. Roca Pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 - 1.5 mts de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos, 4- 5 mts de longitud, espaciados 1 - 1.5 mts en la corona y hastiales con malla.	100 - 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 mts a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR: < 20	Múltiples galerías 0.5-1.5 mts. de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5-6 mts de longitud, espaciados 1 - 1.5 mts en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 mts con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

Ilustración 3.: Clasificación geomecánica de Bieniawski y medidas de sostenimiento recomendadas.

Determinación aproximada del sostenimiento de un túnel (Grimstad, Barton y Loset, 1993)



CATEGORÍAS DE SOPORTE		
1 - Sin sostenimiento	4 - Bulonado sistemático y 4 a 5 cm de hormigón proyectado	7 - 12 a 15 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado
2 - Bulonado ocasional	5 - 5 a 9 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado	8 - > 15 cm de hormigón proyectado, con fibras, bulonado y cerchas metálicas
3 - Bulonado sistemático	6 - 9 a 12 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado	9 - Revestimiento de hormigón

CLASES DE MACIZO Y MEDIDAS DE SOPORTE:

Índice Q	Categoría recomendada según el ábaco	Clase RMR
54,6-503	1 Sin sostenimiento	I 80 - 100
5,92-54,60	2 Bulonado ocasional	II 60 - 80
	3 Bulonado sistemático	
	4 Bulonado sistemático y 4 a 5 cm de hormigón proyectado	
0,64-5,92	4 Bulonado sistemático y 4 a 5 cm de hormigón proyectado	III 40 - 60
	5 5 a 9 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado	
	6 9 a 12 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado	
0,07-0,64	6 9 a 12 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado	IV 20 - 40
	7 12 a 15 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado	
0,01-0,07	8 > 15 cm de hormigón proyectado, con fibras y bulonado y cerchas metálicas	V 0 - 20

Ilustración 4. Clasificación geomecánica de Grimstad, Barton y Loset (1993)

RMR	CLASE	BULONADO			HORMIGÓN PROYECTADO			ARMADURA		CERCHAS		MÉTODOS ESPECIALES
		L (m)	b/m <sup>2</sup>	s' (m)	e (cm)	CAPAS	SELLADO	MALLAZO	FIBRAS	TIPO	S' (m)	
100	Ia	-	-	-	-	-	-	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	No	
90	Ib	2/3	0.10	Ocasional	2	Ocasional	No					
80	IIa	3	0.10/0.25	Ocasional	5	1	Ocasional	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	No	
70	IIb	3	0.25/0.44	2 x 2/1.5 x 1.5	6-10	1/2	Si					
60	IIIa	3/4	0.44/0.66	1.5 x 1.5/1 x 1.5	8-15	2/3	Si	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21	Ocasional	
50	IIIb	4	0.66/1	1 x 1.5/1 x 1	12-20	2/3	Si				1.5	
40	IVa	4/4.5	0.80/1	1 x 1.25/1 x 1	16-24	3	Si	DOBLE	FIBRAS	HEB	1	BERNOLD PARAGUAS
30	IVb	4.5/5	1	1 x 1	20-30	3	Si				0.75/1	
20	Va	-	-	-	30-40	3/4	Si				0.5/0.75	
10	Vb	SISTEMAS ESPECIALES										

1. Las unidades para el bulonado son: L, longitud en metros (m); densidad en bulones por m<sup>2</sup> (b/m<sup>2</sup>) y s, espaciamiento en metros (m)
2. La unidad para e, espesor mínimo de hormigón proyectado, es el centímetro (cm). No se ha tenido en cuenta la sobreexcavación.
3. El número de capas de hormigón proyectado incluye la capa de sellado
4. La unidad para S, separación entre cerchas, es el metro (m).
5. Las líneas continuas indican que el método es apropiado para el intervalo y se usa frecuentemente
6. Las líneas indican que el método es posible para el intervalo y se usa a veces.

Ilustración 5. Clasificación geomecánica de Romana para sostenimiento de túneles (2001)

En base a experiencias constructivas en túneles de similares características, se definen a continuación una serie de medidas de sostenimiento habituales en la ejecución de túneles ferroviarios.

Sostenimiento	RMR (Bieniawski, 1989)	Q (Barton, 1974)	Pernos	Hormigón Proyectado	Cerchas
ST-I	80-100	54,60 - 503	Bulonado ocasional	NO	
ST-II	60 - 80	5,92 – 54,60	Bulonado de ocasional a sistemático en malla 2x2 o 1,5x1,5 m	4 a 10 cm (No armado)	NO
ST-III	40 - 60	0,64 – 5,92	Bulonado sistemático en malla 1,5x1,5 o 1x1 m	5 a 9 cm / 9 a 12 cm (Reforzado con fibras) - Grimstad, Barton	NO
				8 a 15 cm / 12 a 20 cm (Reforzado con fibras) - Romana	Ocasional
ST-IV	20 - 40	0,07 – 0,64	Bulonado sistemático en malla 1x1 m	12 a 15 cm (Reforzado con fibras). En ocasiones > 15cm Grimstad, Barton	SI
				16 a 24 cm / 20 a 30 cm (Reforzado con fibras) - Romana	
ST-V	< 20	< 0,07	NO	> 15 cm (Reforzado con fibras) - Grimstad, Barton y Loset	SI
				30 a 40 cm (Reforzado con fibras) - Romana	
				Capa de hormigón encofrado convencional / Sistemas especiales	

Tabla 11: Predimensionamiento de medidas de sostenimiento según recomendaciones en base a clasificaciones geomecánicas.

RMR	Medios de excavación	Bulones	Cuadrícula	Hormigón Proyectado	Pase	Cerchas	Observaciones
80-100	Voladura	Expansión	Ocasional	5 cm (capa de sellado)	4 m (Av) 8 m (Des)	NO	-
60 - 80			2x2 m				-
40 - 60			1,5x1,5 m	3 + 7 cm	2-3 m (Av) 4-6 m (Des)		Destroza partida en 2
30 - 40	Voladuras controladas con explosivos específicos para rocas blandas y Medios Mecánicos		1,0x1,0 m	3 + 17 cm	1 m (Av) 2 m (Des)	TH-29 cada 1 m	Destroza partida en 2 – Bulones de refuerzo de acero corrugado ocasionales
Suelos y litotipos de zonas	Medios Mecánicos	Autoperf. en base de avance	-	3 + 22 cm		HEB-180 cada 1 m	Destroza + Contrabóveda por fases. Paraguas de micropilotes al avance

Tabla 12. Medidas de sostenimiento en base a experiencias similares

Basado en la aplicación de estos criterios empíricos, se han considerado, para este nivel de estudio, tres tipos de sostenimiento básico a aplicar en el túnel de Colmenares.

- **ST-L, Sostenimiento ligero:** Sostenimiento en roca sana o poco fracturada, RMR > 30. Condiciones geotécnicas favorables. Bulonado sistemático en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m (Bulón de expansión tipo Swellex de 150 kN). 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación partida: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m. Método de excavación mediante rozadora o voladura ocasional controlada.
- **ST-P, Sostenimiento pesado:** Sostenimiento en roca fracturada, RMR < 30 o suelos. Condiciones geotécnicas desfavorables. 20-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Colocación sistemática de cerchas metálicas pesadas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m (en zonas con inestabilidades de bloques, techos planos, etc.), L=4 m (Bulón de expansión tipo Swellex de 150 kN). Sección de excavación partida: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m. Método de excavación mediante medios mecánicos: Escarificación /pala con ayuda de martillo neumático o rozadora. Uso de contrabóveda en fase de destroza.

- **ST-E, Emboquilles:** Sostenimiento de emboquille y zonas de especial inestabilidad como fallas, tramos muy alterados, etc. 30 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Colocación sistemática de cerchas metálicas pesadas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m (en zonas con inestabilidades de bloques, techos planos, etc.), L=4 m (Bulón de expansión tipo Swellex de 150 kN). Paraguas de micropilotes en corona superior, de 12 m de longitud, 3 m de solape, 150 mm de diámetro.

### 3.7. Revestimiento definitivo

Una vez alcanzado el equilibrio, cuando los movimientos del sostenimiento queden completamente estabilizados, se procederá con la ejecución del revestimiento definitivo, realizado mediante hormigón encofrado convencional de alta calidad, cuya puesta en obra se materializará mediante el uso de un carro encofrador con estructura portante móvil desplazándose sobre raíles.

La función del revestimiento definitivo es la de proporcionar al conjunto la capacidad estructural necesaria para resistir las cargas que pudieran generarse a largo plazo por: sismo, degradación del sostenimiento provisional, incremento o restitución del nivel freático, procesos reológicos de degradación del terreno, etc.

El revestimiento definitivo posee, adicionalmente, una función estética y aerodinámica, minimizando los incrementos bruscos de presión al paso de los trenes por el túnel y también la resistencia aerodinámica del tren. Mediante este elemento se asegura también una buena estanqueidad hidráulica del túnel ya que se permite una correcta colocación de la lámina impermeabilizante.

La ejecución del revestimiento en el túnel se realiza en dos fases. En primer lugar, se ejecutarán los denominados muretes de pie o muretes guía (zapatas), como arranque de hastiales. Sobre ellos se hormigonará el revestimiento propiamente dicho, cuya cara interior constituirá el paramento visto de la sección del túnel. La puesta en obra del revestimiento se materializará mediante el uso de un carro encofrador con estructura portante móvil desplazándose sobre raíles, los cuales a su vez se apoyan en ambos muretes guía. La construcción de las zapatas se realiza tras la excavación de la destroza,

simultaneándola con ella (con los correspondientes desfases en planta para compaginar ambos trabajos). Esto permite realizar un buen recalce del sostenimiento colocado en sección completa, que beneficia en gran medida las condiciones de apoyo de éste.

En el hormigón de revestimiento (HM-30) se incluirán fibras macro-sintéticas de polipropileno (~ 5 kg/m<sup>3</sup>), que aportan al hormigón mayor ligereza, mejor adherencia, incrementa la ductilidad del hormigón, mayor resistencia a la corrosión, al ataque químico de álcalis y a ácidos, incrementa la durabilidad, mejora el comportamiento al fuego (reduciendo el “spalling” o lajeo), elimina o reduce las fisuraciones en el proceso de endurecimiento, mejora la tenacidad, resistencia residual, resistencia al impacto y resistencia a la flexión y por último, mejora la calidad de los acabados superficiales.

En clave de túnel se posibilitará la inyección de mortero de cemento para rellenar los posibles huecos derivados del propio proceso de hormigonado y compactación.

En esta fase de estudio, se puede asumir un espesor de revestimiento en corona superior en torno a los 30-35 cm. La sección tipo considerada incluye contrabóveda en la solera, para la que se supone un espesor de 40-60 cm.

La excavación y el hormigonado de la contrabóveda se efectuará a una distancia NO superior a 10 m del frente de excavación de la destroza, con el fin de conseguir cuanto antes el cierre estructural del sostenimiento.

### 3.8. Riesgos potenciales a lo largo del trazado de los túneles

A lo largo del trazado de los túneles existen una serie de riesgos potenciales, los cuales podrían ocasionar, en caso de desarrollarse, importantes procesos de inestabilidad en el interior del túnel. A continuación, enumeramos los principales riesgos identificados:

#### a) Riesgos geológicos e hidrogeológicos

- **Riesgos sísmicos.** la zona donde se desarrolla el Estudio, resulta susceptible de actividad sísmica. El valor de la aceleración sísmica actualizada asignado a la zona (ab=0,18g) implica la obligación de aplicar la norma sismorresistente en el diseño del túnel.

- Presencia de fallas y discontinuidades (“faulting”). Se ha detectado la presencia de fallas y zonas con presencia de roca muy alterada que hará necesaria la disposición de sostenimientos pesados y/o tratamientos específicos (paraguas de micropilotes) para el paso del túnel a través de ellos.
- Meteorización de la roca. Presencia de niveles arcillosos, procedentes de la alteración de las formaciones margosas atravesadas.
- Filtraciones de agua; irrupciones bruscas de agua; sobrepresiones.

#### b) Riesgos geomecánicos

- Techos planos: dada la disposición estructural de los estratos en el macizo rocoso atravesado, es muy posible que se produzcan este tipo de sobreexcavaciones.
- Sobreexcavaciones (“caving”), efecto de la estratificación subhorizontal que podría producir roturas y caídas puntuales de pequeños bloques, dado espaciamiento pequeño que presenta la estratificación (0,06-0,2 m).
- Estabilidad del frente, por caída de bloques a favor de la estratificación.

### 3.9. Tratamientos especiales

Los sostenimientos definidos suponen el medio básico para posibilitar la excavación en las distintas calidades de terreno previstas. Se describen, no obstante, en este capítulo posibles medidas preventivas ocasionales, que podría ser necesario efectuar en el interior del túnel para garantizar la estabilidad de la excavación, mejorar las características mecánicas de los terrenos atravesados, prevenir o tratar posibles desprendimientos, evitar entradas importantes de agua, impedir el cierre de la sección transversal o asegurar afecciones mínimas a estructuras adyacentes.

A continuación, se describen los posibles tratamientos especiales a tener en cuenta, de acuerdo a las condiciones de excavación estimadas para el túnel del trazado desarrollado en el presente Estudio Informativo.

#### 3.9.1. *Tratamientos para aumentar la longitud del pase*

En el caso de detectarse problemas en la estabilidad, por una excesiva longitud del pase se seguirá la siguiente secuencia:

- Reducción de longitud de pase. Aunque no se trata de un tratamiento propiamente dicho, la reducción de la longitud de pase, junto con una primera capa de hormigón proyectado de sostenimiento (sellado) en las inmediaciones del frente, podría reducir los problemas de inestabilidad.
- Incorporación de cercha como elemento de entibación inmediato. En caso de que el diseño del sostenimiento ya contemple esta medida, se colocarán las cerchas lo más cerca posible del frente de excavación.
- Empiquetados mediante barras de acero corrugado con diámetro mínimo de 32 mm. Este tipo de tratamiento puede disponerse, bien en toda la corona ocupada por la bóveda del túnel o en puntos concretos de la sección, donde se presenten terrenos de peores características. Las barras deberán tener longitudes tales que permitan el anclaje a zonas poco alteradas por la excavación (longitudes comprendidas entre 4 y 6 m).
- Paraguas de bulones autoperforantes en corona superior (Carga de rotura mínima 32 t). Longitud de los bulones autoperforantes 6-9 m.
- Paraguas de micropilotes en corona superior, mediante tubos de acero laminado de alto límite elástico. Longitud de los micropilotes de 12 m, 3 m de solape, taladros de 150 mm de diámetro armados con tubos de acero  $\phi$  120 x 10 mm. Separación transversal entre centros 40 cm.

Hay que recalcar la necesidad de completar los bulonados de hombros y clave en cada pase en los casos de “techos planos”, así como la posibilidad de redistribuir los bulones de una determinada sección tipo de sostenimiento ligera hacia las zonas más problemáticas (clave y hombros) reduciendo la densidad de bulones en las zonas de hastiales, en las que el problema es menor.

### 3.9.2. *Tratamientos de estabilización del frente*

El proceso de aplicación de las medidas de estabilización del frente debe realizarse de manera gradual:

- En primer lugar, se iniciará la excavación del túnel con el frente libre, manteniéndose esta medida siempre que no se observen síntomas de inestabilidad en el mismo (Desplazamientos horizontales mínimos).
- Si se apreciaran estos síntomas, el primer tratamiento consistiría en la incorporación al frente de excavación de un machón central, o de un frente inclinado, que sirva de confinamiento frontal.
- Si el machón se mostrara ineficaz, se procedería al bulonado sistemático del frente mediante bulones de fibra de vidrio en malla 1x1 m. Estos bulones suelen tener una longitud elevada permitiendo que actúe a modo de "claveteado" en el frente y que permita la ejecución de varios pases sin necesidad de efectuar paradas para su perforación.
- En última instancia podría hacerse uso de paraguas de micropilotes en corona superior, mediante tubos de acero laminado de alto límite elástico. Longitud de los micropilotes de 12 m, 3 m de solape, 150 mm de diámetro armados con tubos de acero  $\phi$  120 x 10 mm y separación transversal entre centros de 40 cm. Si bien este sistema es adecuado para garantizar la completa estabilidad del frente de excavación, su uso no está limitado a tal fin.
- De no mostrarse efectivos los tratamientos anteriores, debería recurrirse a técnicas de mejora del terreno. Este tipo de tratamientos se efectúan generalmente mediante inyecciones de lechada de cemento o micro-cemento a baja presión, rellenando fracturas en roca o poros en suelos. Cuando existen porosidades muy reducidas asociadas a granulometrías finas puede ser necesario recurrir al empleo de productos sintéticos como el silicato sódico. Mientras que los tratamientos anteriores inciden sobre las condiciones de contorno del problema geotécnico, este tratamiento permite mejorar el comportamiento del material

aumentando su resistencia, disminuyendo su deformabilidad y limitando su permeabilidad.

- Otra posibilidad de inyección es el empleo de jet-grouting como paraguas o prebóvedas en zona de clave (longitud 12 m y solape 2 m), o bien generando grandes masas de terreno mejorado a través de las cuales discurre el túnel, principalmente cuando se atraviesan terrenos blandos (desde suelos cohesivos hasta gravas). El jet-grouting es una técnica de consolidación de suelos por mezclado de sus partículas con una mezcla de cemento, con o sin productos de adición. 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. Este tratamiento contribuye, por sí mismo y por el efecto de confinamiento que produce en el terreno circundante, a una mejora por una mayor resistencia e impermeabilidad de la masa.

El sellado del frente mediante hormigón proyectado evita que el terreno se degrade entre pases sucesivos y evita desprendimientos de pequeña entidad. Este tratamiento es efectivo en frentes con tendencia a meteorizarse o cuando se prevén paradas prolongadas del avance del túnel. Este tratamiento debiera considerarse de forma sistemática en materiales degradables y de manera ocasional, en periodos de parada prolongados del frente de excavación.

El drenaje general del frente de excavación es una medida transversal a todas las anteriores. En caso de que la existencia de agua por delante del frente pudiera desestabilizarlo (provocando lavados o arrastres), este tratamiento podría considerarse de estabilización, siempre y cuando las infiltraciones no sean muy elevadas.

### 3.9.3. *Tratamientos frente al cierre de sección o hundimientos de la base de los hastiales*

Se han incluido en este apartado las contrabóvedas curvas y las soleras planas

provisionales, que sirven de puntal frente a cierres transversales del sostenimiento. Las soleras planas y contrabóvedas provisionales pudieran ser de utilidad también frente al hundimiento de la sección.

Otro tratamiento a aplicar para reducir el cierre sería el aumento de longitud, densidad y/o capacidad del bulonado previsto, principalmente de aquellos bulones que se disponen de manera horizontal en la base de los hastiales. Esta medida será igualmente efectiva frente al hundimiento de la sección.

El empleo de pata de elefante estaría plenamente justificado como medida para reducir el hundimiento de la sección en fase de avance. El aumento de la sección de sostenimiento produce una reducción de las tensiones verticales transmitidas al terreno. Adicionalmente, en caso de que esta medida fuese insuficiente, podría incorporarse un recalce de pie de sostenimiento mediante micropilotes cuasi-verticales, inyecciones o con bulones autoperforantes.

A falta de datos más precisos al respecto y en la fase de estudio en la que se encuentra el proyecto, se plantean las siguientes medidas para hacer frente al cierre de la sección:

- En caso de que las convergencias horizontales no se estabilicen en el tiempo o alcancen valores superiores al 1% del diámetro de excavación (principalmente cuando se trata de geotecnias desfavorables), se colocarán pares de bulones autoperforantes en hastiales (cada metro en dirección longitudinal), con carga de rotura mínima 32 t y longitud 6-9 m, anclando la base de las cerchas.
- En caso de hundimiento de clave, se colocarán bulones autoperforantes uniformemente repartidos en corona superior, con carga de rotura mínima 32 t y longitud 6-9 m.

El cierre de la sección puede ser debido al uso de un sostenimiento insuficiente principalmente en zonas altamente fracturadas (corto plazo), o también debido al desarrollo de procesos tiempo-dependientes de plastificación intensa (fluencia o “squeezing”), expansividad (“swelling”) o hinchamiento, desarrollados a medio plazo.

Específicamente, los procesos de fluencia se asocian a macizos rocosos muy fracturados o de baja calidad, sometidos a la aplicación de cargas elevadas durante mucho tiempo.

Para determinar el riesgo de fluencia suele aplicarse por su sencillez el criterio recopilado por Barla (1995) definido anteriormente, basado en el de Jethwa (1984).

$F=\sigma_{cm}/\gamma H$	Grado de fluencia
>1	No fluencia
0.4 – 1.0	Fluencia ligera
0.2 – 0.4	Fluencia moderada
<0.2	Fluencia severa

Tabla 13. Criterio de fluencia de Barla (1995)

El factor de fluencia (F) relaciona la resistencia a compresión simple del macizo ( $\sigma_{cm}$ ) con su carga litostática a cota de túnel ( $\gamma H$ ). Dadas las características resistentes del macizo atravesado y las profundidades de recubrimiento consideradas no se observa riesgo por fluencia en el túnel propuesto en el estudio.

#### 3.9.4. Tratamiento de relleno de huecos

Al margen de las inestabilidades y pérdida de sección debidas a un hueco o cavidad próximo a la sección del túnel, su influencia es más preocupante a largo plazo, ya que, en caso de no rellenarse correctamente dicho vacío, esto implicaría un efecto de desconfinamiento local del revestimiento.

Para ejecutar el relleno de los posibles huecos interceptados por el túnel, caben varias opciones en función del tamaño y posición de los mismos. El empleo de paraguas de presostenimiento implica un posible relleno de huecos, por medio de la propia inyección de los micropilotes, sobre todo si se observaran inestabilidades en clave que impidan la excavación.

Para el relleno de huecos puede emplearse de forma general mortero de cemento, con el fin de que la inyección no circule a lo largo de fisuras de pequeño espesor aumentando el consumo y no suponiendo una mejora del entorno del túnel. La fluidez de dicho mortero podrá reducirse si se observan migraciones o consumos excesivos. En el caso de aparecer huecos de entidad, cabe la posibilidad de ejecutar un primer relleno mediante hormigón ciclópeo.

Para permitir el relleno de los huecos desde el interior será necesario el empleo de cerchas metálicas a las que se adosa una chapa Bernold, a modo de encofrado perdido, que cumpliría una triple función: (a) Protección contra caídas de material, (b) Encofrado del hormigón bombeado entre las chapas y el terreno y (c) Armado del revestimiento.

Al margen de la aparición de huecos como los comentados anteriormente, el empleo de inyecciones de contacto a través del revestimiento, es una medida a aplicar en cualquier caso para garantizar el confinamiento completo del revestimiento.

Como tratamiento preventivo durante la construcción se propone, donde exista la posibilidad de existencia de huecos, el empleo sistemático de taladros de comprobación ejecutados con jumbo (sondeos exploratorios); la perforación del bulonado será igualmente útil debiéndose dejar constancia de aquellos bulones que intercepten huecos.

#### 3.9.5. Otras medidas

Durante las fases de excavación y sostenimiento no existen sobrepresiones de agua en el extradós del sostenimiento, pues la excavación permite un desagüe continuo por el perímetro de la perforación. En caso de que se observen manchas de humedad en el soporte, se ejecutarán drenes transversales a través de la capa de sostenimiento, con objeto de disipar cualquier sobrepresión. Estos drenes se materializan mediante tubos de PVC ranurado de 3 m de longitud, envueltos en una lámina de geotextil y, posteriormente, sellando la unión con el sostenimiento mediante mortero de sellado.

La inspección y control de la calidad de los materiales que se sitúan inmediatamente por delante del frente de excavación se realizará mediante sondeos exploratorios horizontales de 20 m de longitud, realizados en el propio frente de avance. Estos sondeos se realizarán de manera ocasional cuando se registren disminuciones en las propiedades resistentes de los materiales, las cuales se presuponen cuando aumentan significativamente los movimientos del terreno en las inmediaciones del frente de excavación (también cuando aumentan las convergencias en el intradós del soporte). Los sondeos exploratorios se propondrán a criterio de la dirección facultativa, contribuyendo al desagüe del frente de excavación.

### 3.10. Impermeabilización y drenaje

En la actualidad se considera imprescindible diseñar túneles provistos de sistemas impermeables, donde los goteos sobre carril o catenaria pueden generar problemas durante la fase de explotación. De este modo, aunque la inversión inicial en la fase de construcción es mayor, los gastos de mantenimiento a lo largo de la vida del túnel resultan más bajos.

El sistema de impermeabilización y drenaje del túnel se inicia mediante una capa de geotextil adherida a la cara interior del sostenimiento y seguidamente una lámina de PVC autoextinguible al fuego. Esta lámina quedará por tanto en contacto con el trasdós del revestimiento, tras el hormigonado del mismo.

Si bien este sistema de impermeabilización evita la entrada de agua al túnel, lo cierto es que constituye, por regla general, un drenaje del trasdós del revestimiento, razón por la cual la carga de agua no se tendría en consideración para el cálculo estructural del propio revestimiento.

La impermeabilización se coloca mediante un andamio tubular más ligero que el empleado para el revestimiento, que se desplazará igualmente a lo largo del túnel. La lámina de geotextil se ancla a la pared del túnel mediante spits dotados de una placa de plástico que permite la termofusión de la lámina de PVC; asimismo, los solapes de la lámina de PVC se efectuarán igualmente mediante dos líneas de soldadura por el mismo procedimiento de termofusión.

El sistema de impermeabilización y drenaje del túnel se completa mediante: Tubos dren ranurados de PVC en la base de los hastiales a lo largo de toda la longitud del túnel, acometidas al sistema de drenaje general del túnel, a distancias regulares de 50 m, y colector longitudinal principal. Este sistema incorpora también pozos de registro cada 50 m. Los pozos de registro permiten la entrada de agua a la red general de saneamiento de los túneles, conectada con la red de drenaje exterior

Para el desagüe de las aguas de escorrentía que circulan por el interior del túnel, se hará uso de un tubo ranurado de PVC en base de plataforma, el cual se encarga de la recogida

del agua de escorrentía por gravedad, desaguando al sistema general de drenaje a través de los pozos de registro.

### 3.11. Auscultación

Un elemento inherente a la correcta aplicación del método austríaco es la auscultación de la excavación. La información proporcionada por los instrumentos de medida, instalados al tiempo que se va ejecutando el sostenimiento, permite vigilar el comportamiento de la cavidad y corregir las deficiencias y excesos del sostenimiento empleado. Esta posibilidad hace de este método un sistema flexible y adaptable a cualquier circunstancia.

Los problemas que por regla general causan una mayor preocupación durante la construcción de un túnel son:

- a) la estabilidad del frente durante la excavación
- b) la estabilidad del sostenimiento
- c) la estabilidad del revestimiento definitivo
- d) los movimientos del terreno generados por la excavación (principalmente en túneles urbanos, cuando se habla de asentamientos en superficie o vibraciones generadas por las detonaciones en el interior del macizo).

La auscultación desempeña un papel fundamental para controlar todos estos aspectos. Para ello, es prioritario conocer en todo momento la evolución y estado final de las tensiones y deformaciones en el borde de la excavación y en su entorno hasta llegar a la situación de equilibrio, así como la interacción entre el terreno y el sostenimiento.

El sistema de auscultación de un túnel permite comprobar en qué medida una tipología de sostenimiento se adecua a un determinado tipo de terreno, así como evaluar el grado de estabilidad conseguido en la excavación y sostenimiento del túnel. Se pretende así valorar si el sostenimiento de proyecto es el adecuado, si es preciso corregirlo o si es necesario reforzar puntualmente alguna sección. Pretende conocerse también la evolución de la estabilidad del revestimiento durante la explotación.

Siguiendo la 'filosofía' del Nuevo Método Austríaco de construcción de túneles, la correcta ejecución de la obra, con la selección o modificación de las longitudes de avance

y los tipos de sostenimiento, requerirá una adecuada auscultación del túnel sostenido, así como un control sistemático de los materiales en el frente mediante eventuales reconocimientos. Todos estos aspectos pueden y deben controlarse mediante la instrumentación y sistemas de auscultación diseñados, a través del uso de métodos directos e indirectos de toma de datos.

La propuesta de instrumentación se basa principalmente en los siguientes aspectos:

- Control ocasional de los materiales por delante del frente de excavación, mediante sondeos exploratorios longitudinales.
- Control sistemático de los materiales en el frente de excavación, mediante levantamientos geomecánicos sistemáticos.
- Control exhaustivo de las convergencias desarrolladas en el intradós del sostenimiento, como un elemento fundamental para conocer el comportamiento real del terreno, del propio sostenimiento y en última instancia del revestimiento. De esta manera, si las convergencias permanecen dentro de los rangos admisibles, queda asegurada la estabilidad del conjunto. Las lecturas de convergencias se realizarán mediante cintas extensométricas, ancladas a los paramentos del túnel mediante pernos.
- Adicionalmente, la información se complementará mediante datos de presión de tierras sobre los sostenimientos (a través de células de presión total) y mediante datos de deformaciones radiales en el terreno, a través del uso de extensómetros de varilla.

Con respecto al criterio para el registro de las convergencias en el intradós del sostenimiento, se propone el siguiente sistema de toma de datos en fase de avance y en los tramos de túnel ya excavados:

- Lecturas diarias al menos durante 2 semanas. Transcurridas éstas, se pasará al siguiente nivel si la velocidad de cierre media semanal de todas las medidas de convergencia de la sección, son inferiores a 2 mm/semana. En caso contrario, seguir con las lecturas diarias durante 1 semana más.

- Lecturas semanales hasta que la velocidad de cierre media semanal de las medidas de deformación de la sección, sean inferiores a 1 mm/semana durante 4 semanas consecutivas.
- Lecturas mensuales. Se mantendrá una frecuencia mensual de lecturas mientras el incremento de la deformación entre lecturas consecutivas sea igual o mayor a 1 mm (Es decir, mientras se den velocidades de deformación mayores a 1 mm/mes).
- Lecturas trimestrales. Se pasará a frecuencia trimestral cuando el incremento de deformación de la última lectura mensual respecto de la anterior, sea igual o menor de 1 mm. Esta frecuencia, como mínimo, se mantendrá en todas las secciones hasta la colocación del revestimiento de hormigón definitivo.

En lo referente al refuerzo a disponer en caso de que las convergencias no se estabilicen, se procederá mediante las recomendaciones definidas en la siguiente tabla:

Velocidad de deformación (mm/día)	Clase	Actuación
$V > 10,0$	Muy grande	Refuerzo inmediato
$5,0 < V < 10,0$	Muy grande	Si se mantiene 2 días, se procederá al refuerzo
$2,0 < V < 5,0$	Grande	Si se mantiene 5 días, se procederá al refuerzo
$0,5 < V < 2,0$	Mediana	Si se mantiene 15 días, se procederá al refuerzo
$0,05 < V < 0,5$	Pequeña	Ninguna
$V < 0,05$	Despreciable	Ninguna

Tabla 14. Valores de velocidad diametral de deformación para proceder con el refuerzo del sostenimiento

#### 4. DISEÑO DE GALERÍAS DE EMERGENCIA

##### 4.1. Normativa aplicable y criterios de diseño

Directiva 2016/797/UE del 11 de mayo de 2016 sobre la interoperabilidad del sistema ferroviario dentro de la Unión Europea (versión refundida) y Reglamento 1303/2014

relativo a la “seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea (Comisión de 18 de noviembre de 2014)

- Salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales

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

Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1.000 m.

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 2,0 m de alto. 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.

- Pasillos de evacuación

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 500 m de longitud.

Se construirán pasillos en los túneles de vía única en, como mínimo, un lado de la vía y en los túneles de doble vía a ambos lados del túnel. En los túneles más anchos con más de dos vías, el acceso al pasillo de evacuación será posible desde cada vía. La anchura del pasillo será, al menos, de 0,8 m. La distancia libre mínima vertical por encima del pasillo será de 2,25 m. La altura del pasillo estará al nivel de la parte superior del carril o incluso más alto.

Se evitarán estrechamientos locales provocadas por obstáculos en la zona 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.

- Zonas de rescate fuera de los túneles

Se dispondrán zonas de rescate (zona a cielo abierto en torno al punto de lucha contra incendios) de un mínimo de 500 m<sup>2</sup> cerca del túnel en las vías de acceso.

### Norma ADIF plataforma. Túneles (NAP 2-3-1.0+M1)

- Pasillos de Evacuación

En todos los túneles de más de 0,5 km de longitud, se construirán pasillos de evacuación por ambos lados en caso de vía doble, o al menos a un lado en caso de túneles de vía única, hasta llegar a una de las bocas o bien a una salida de emergencia (a través de galería o pozo), y terminarán en una zona segura situada preferentemente en el exterior del túnel, en una galería o túnel auxiliar paralelo o, en casos específicos, en una estación subterránea. Las dimensiones mínimas de los accesos a las zonas de seguridad a través de las puertas de acceso, desde el pasillo de evacuación, será de 1,4 m de anchura y 2,0 metros de altura. Características principales de las aceras:

- En túneles de vía doble se dispondrán a ambos lados, dejando libre el gálibo de implantación de obstáculos, considerando como idóneo un ancho mínimo de 0,8 m. Altura libre de 2,25 m. Tubo pasamanos anclado al hastial, entre 0,8 m y 1,10 m por encima de la acera y fuera del gálibo libre mínimo.
- En túneles de vía única, se respetarán las mismas características, a un solo lado.

- Salidas de Emergencia

Salvo en zonas urbanas (a analizar en cada caso por ADIF, pero siempre cumpliendo con la ETI de “seguridad en túneles”) en todos los túneles de longitud superior a 1 km se estudiará su ubicación teniendo en cuenta los presentes criterios:

- En caso de pasillos transversales a otro túnel o a una galería auxiliar, separación de 500 m.
- En caso de salidas que conectan directamente con el exterior, mediante galerías o pozos, separación de 1.000 m.

- Zonas seguras y galerías de evacuación

Las Zonas Seguras en exterior de los túneles cumplirán lo anterior y además dispondrán, cerca de las vías de acceso, de un área de socorro o rescate de superficie mínima 500 m<sup>2</sup>, con acceso viario afirmado de 5,0 m de ancho mínimo. Se exige dicha superficie para facilitar la disposición de los denominados “puntos de lucha contra el fuego” exteriores con una doble función: la de posibilitar la lucha contra el fuego y la de evacuación del pasaje y tripulación. En zonas donde no sea posible disponer estas plataformas podrán utilizarse las calles y carreteras existentes como zonas de rescate.

#### Instrucción sobre seguridad en túneles. 20/06/2006. Borrador.

- Las galerías de emergencia tendrán pendiente máxima del 8%, sin puntos bajos, y como mínimo 2,25 m de ancho y 2,25 m de alto. Las dimensiones mínimas de las aperturas de las puertas serán de 1,80 m de anchura y 2,00 m de altura. Las de longitud superior a 300 metros deberán ser accesibles a vehículos ligeros, siendo recomendable en el resto. En ese caso, deberán permitir el paso simultáneo de vehículos y personas, además de disponer de zonas de estacionamiento y maniobra en su interior y acceso viario a la boca desde la red de carreteras.
- Los pozos tendrán profundidad máxima de 50 m (con ascensores de carga mínima 2.000 kg, a partir de los 30 m, siendo recomendable en los de más de 15 metros). Deberá considerarse la realización de sobreanchos que permitan el cruce y maniobra de vehículos de emergencia.

#### **4.2. Sección tipo**

El diseño de la sección transversal de la galería se adapta a los gálibos mínimos que debe respetar. Como se indicó en el apartado anterior, la zona libre de las galerías de emergencia será de un mínimo recomendable de 2,25 x 2,25 m (1,40 x 2,00 m para puertas). Ver Ilustración siguiente:

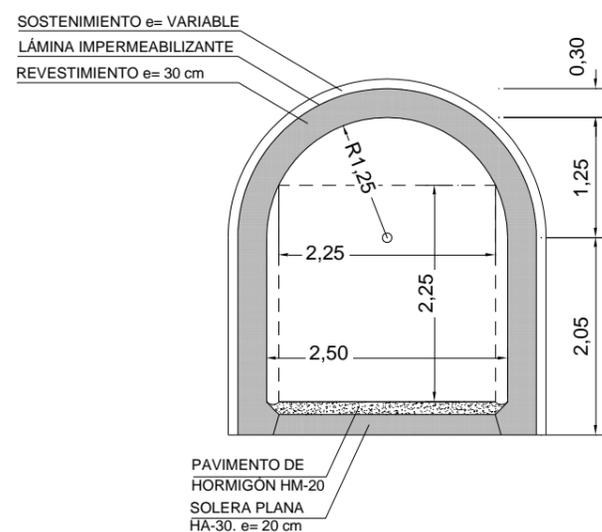


Ilustración 6. Sección tipo galería de emergencia Túnel de Colmenares

#### 4.3. Método constructivo

El terreno en el que se excavarán las galerías presenta las mismas características que el atravesado por el propio Túnel de Colmenares, principalmente rocas blandas a medias con diversos grados de meteorización, hacen que se opte por la técnica del Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles (NATM). La ejecución se realizará en base a las siguientes fases del proceso constructivo:

- Ejecución de una entibación provisional inmediatamente después de excavar (Sostenimiento Provisional).
- Auscultación detallada del comportamiento de la galería, midiendo desplazamientos mediante convergencias.
- Construcción del revestimiento definitivo tras alcanzarse la estabilidad del conjunto terreno-sostenimiento.

#### 4.4. Proceso de excavación

El método de excavación previsto será mediante métodos mecánicos, principalmente rozadora en el caso de los materiales más resistentes y retroexcavadora / martillo en los estratos de roca blanda (margas).

Teniendo en cuenta el tamaño de la sección y las condiciones geomecánicas de los materiales que conforman el macizo rocoso, se opta por realizar la excavación de las galerías a sección completa.

Para garantizar unas condiciones de seguridad suficientes durante la colocación del sostenimiento, inmediatamente después de la excavación de cada avance y previamente a la colocación de la capa de sellado y el inicio de los sostenimientos, se procederá al saneo de la sección excavada para eliminar bloques potencialmente inestables y la parte de materiales "tronados".

#### 4.5. Sostenimientos provisionales

El sostenimiento provisional se proyecta siguiendo la filosofía del Nuevo Método Austríaco (NATM). En la fase de análisis en la que nos encontramos, se plantea el uso de 2 diferentes tipos de sostenimientos básicos:

- **ST-Gal.** Sostenimiento de galería para cualquier tipo de terreno. Condiciones geotécnicas favorables o desfavorables. Bulonado sistemático en malla 1,0x1,0 m (L=2,5 m, bulones de expansión tipo Swellex 150 KN), 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HP-30). Colocación ocasional de cerchas metálicas ligeras (En caso de geotecnia desfavorables). Pase de avance 1,5-2 m. Sección de excavación completa. Método de excavación mediante medios mecánicos, rozadora o escarificación / pala, con ayuda de martillo neumático.
- **ST-Gal-E.** ST-Gal + Paraguas de micropilotes en corona superior, de 12 m de longitud, 3 m de solape, 98 mm de diámetro armados con tubos de acero  $\varnothing$  88,9 x 7 mm, separación transversal entre centros 40 cm.

#### 4.6. Revestimiento definitivo

Una vez alcanzado el equilibrio, cuando los movimientos del sostenimiento queden completamente estabilizados, se procederá con la ejecución del revestimiento definitivo, realizado mediante hormigón encofrado convencional de alta calidad (HM-30), cuya puesta en obra se materializará mediante el uso de un carro encofrador con estructura portante móvil desplazándose sobre raíles. En el hormigón de revestimiento se incluirán fibras macro-sintéticas de polipropileno (~ 5 kg/m<sup>3</sup>).

En clave de túnel se posibilitará la inyección de mortero de cemento para rellenar los posibles huecos derivados del propio proceso de hormigonado y compactación.

El espesor del revestimiento será de 30 cm. La sección tipo de galería incluirá solera plana de hormigón armado (HA-30) (e= 20 cm).

#### 4.7. Impermeabilización y drenaje

El sistema de impermeabilización y drenaje de la galería se inicia mediante una capa de geotextil adherida a la cara interior del sostenimiento y seguidamente una lámina de PVC autoextinguible al fuego. Esta lámina quedará por tanto en contacto con el trasdós del revestimiento, tras el hormigonado del mismo.

El sistema de impermeabilización y drenaje del túnel se completa mediante tubos dren ranurados de PVC en la base de los hastiales a lo largo de toda la longitud del túnel, y acometidas a cunetas o caces interiores.

#### 4.8. Entronque con túnel principal

Las galerías de emergencia se excavarán con posterioridad a la ejecución del sostenimiento del túnel principal al que dan servicio. Para posibilitar la excavación de la galería debe procederse con la ejecución de un paraguas de presostenimiento en el perímetro de excavación de la galería. Esta corona de micropilotes, ejecutada desde el interior del túnel, tendrá las siguientes características: 12 m de longitud, 3 m de solape, 98 mm de diámetro armados con tubos de acero  $\phi$  88,9 x 7 mm, separación transversal entre centros 40 cm.

En caso de que se prevean posibles inestabilidades en el frente de avance se hará uso de malla de bulones de fibra de vidrio en el frente de la galería, mediante barras macizas de 25 mm de diámetro y 6 m de largo, en malla 1,0x1,0 m.

La ejecución de un cerco perimetral en la unión túnel-galería, mediante elemento rectangular de hormigón armado HA-30, concluye los trabajos. Este cerco perimetral quedará posteriormente embebido en la masa de hormigón de revestimiento.

#### 4.9. Propuesta

La tabla siguiente sintetiza la situación y longitud de las galerías de emergencia necesarias para dar servicio al túnel integrado en la propuesta de trazado, incluyendo:

- La longitud total asociada a cada galería.
- El número de entronques con el túnel en línea.
- El número de salidas al exterior.

TÚNEL	Longitud de evacuación en túnel (m)	Longitud de galería (m)	Nº conexiones con túneles existentes	Nº de salidas al exterior
SE-1 Túnel de Colmenares	750	490	1	1
SE-2 Túnel de Colmenares	530	250	1	1

Tabla 15. Galerías de emergencia. Situación y longitud

## 5. DISEÑO DE EMBOQUILLES

### 5.1. Introducción

El emboquille de un túnel constituye una zona singular dentro del conjunto del trazado. Por un lado, se trata de un desmante de altura importante y por otro, del inicio del túnel. Esta situación conlleva que en el diseño del mismo deban conjugarse tanto las exigencias del desmante como las de la excavación del túnel.

Como regla general y dependiendo de las características del terreno, la montera del túnel, espesor de terreno sobre clave, debería situarse entre 1 y 2 diámetros de excavación, mayor cuanto menos competente sea el terreno. Evidentemente, la adopción de un mayor espesor de montera en la zona de emboquilles conllevaría la realización de un talud frontal de mayor altura.

Por otro lado, es recomendable conseguir aumentar el espesor de montera en el menor espacio posible, por lo que es aconsejable verticalizar el talud frontal del desmante, como mínimo a taludes del orden de 1H/1V.

Por último, es importante reseñar que los emboquilles se realizan en las partes más superficiales del macizo rocoso y, por tanto, en las zonas más alteradas por efecto de los diferentes agentes externos.

Así pues, se trata de secciones en las cuales concurren una serie de circunstancias que es necesario conjugar para realizar un diseño que satisfaga a todas y cada una de ellas.

No es de extrañar, con estos requerimientos, que el mayor número de problemas en la construcción de túneles se produzca en los emboquilles. Por estos motivos las boquillas suelen ser secciones robustas, con un sostenimiento, tanto del talud frontal de excavación como de los primeros metros del túnel, bastante pesado, pero cuyo sobrecoste en el precio total del túnel, al tratarse habitualmente de dos situaciones puntuales, emboquille de entrada y de salida, es mínimo.

Recapitulando, las secciones de emboquille reúnen las siguientes características:

- Interacción talud frontal de excavación – excavación de túnel en mina.

- Talud frontal de excavación de altura elevada y verticalizado.
- Excavación del túnel en zonas de poca montera y material más alterado, tanto por encontrarse en las zonas exteriores de la elevación del terreno como por estar descomprimido por la excavación.

A estas situaciones debe añadirse que se trata de los primeros metros de la excavación del túnel, con los equipos de trabajo empezando a excavar y sin la experiencia y coordinación que irán adquiriendo a lo largo de la realización del resto de túnel.

### 5.2. Diseño del talud frontal de emboquille

A la vista de las condiciones generales de los materiales en la zona de actuación, se define el siguiente criterio general adoptado para los taludes de los emboquilles del túnel de Colmenares:

- Talud frontal de emboquille excavado al 1H/2V.
- Taludes laterales de emboquille excavados al 2H/3V.

Como medida de protección de los taludes frontales de emboquille se dispondrán las siguientes medidas de sostenimiento:

- Malla de bulones Ø25 mm de 1,5x1,5 m, de longitud 6,0 metros.
- 10 cm de hormigón proyectado sobre mallazo.

## 6. RESUMEN DE ACTUACIONES RECOMENDADAS EN TÚNELES

Durante la redacción del presente Estudio Informativo se ha recopilado la información geológico-geotécnica específica para la definición de las medidas de sostenimiento y revestimiento del túnel asociado a la propuesta de trazado planteada para la Variante de Torrellano.

De forma preliminar y como primera aproximación al problema, se proponen las siguientes actuaciones en los distintos puntos kilométricos (PK) del trazado, si bien deberán ser afinadas en las siguientes fases del estudio.

EJE	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	PK INICIO	PK FINAL	LONGITUD	CARACTERÍSTICAS	GEOLOGÍA	EXCAVACIÓN	SOSTENIMIENTO EN TÚNELES	REVESTIMIENTO TÚNELES
ENTREEJE VÍA GENERAL ALACANT TERMINAL-AEROPUERTO EL ALTET	TÚNEL DE COLMENARES	8+210	8+240	30 m	Taludes de desmonte a ambos lados de la vía Incluye Falso Túnel convencional (30 m)	TMG: Margas y limos calcáreos. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	Taludes laterales: inclinación 2H:3V Talud frontal: Inclinación 1H:2V Protección de talud mediante: Malla de bulones Ø25 mm de 1,5x1,5 m, L= 6,0 m. Hormigón Proyectado (HMP-30) sobre mallazo, e= 10 cm	-
		8+240	8+270	30 m	Túnel en mina. vía doble.	TMG: Margas y limos calcáreos. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	ST-E: 100%: 30 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Paraguas de micropilotes	BÓVEDA Y HASTIALES: 30 cm HM-30 + fibras polipropileno (5 kg/m <sup>3</sup> ) CONTRABÓVEDA: 60 cm
		8+270	8+410	140 m		TMG: Margas y limos calcáreos. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	ST-P: 100%:20-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m	
		8+410	8+580	170 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas / TMG: Margas y limos calcáreos. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	ST-P: 90%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 10% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		8+580	8+940	360 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	ST-P: 90%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 10% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		8+940	8+960	20 m		FALLA: Grado de meteorización estimado IV-V	Medios mecánicos	ST-E: 100%: 30 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Paraguas de micropilotes	
		8+960	9+050	90 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	ST-P: 90%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 10% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		9+050	9+070	20 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas RMR estimado menor o igual que 30. TS: Calcarenitas/areniscas calcáreas. RMR estimado mayor que 30.	Medios mecánicos/rozadora	ST-P: 40%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 60% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	

EJE	ELEMENTO CONSTRUCTIVO	PK INICIO	PK FINAL	LONGITUD	CARACTERÍSTICAS	GEOLOGÍA	EXCAVACIÓN	SOSTENIMIENTO EN TÚNELES	REVESTIMIENTO TÚNELES
ENTREEJE VÍA GENERAL ALACANT TERMINAL-AEROPUERTO EL ALTET	TÚNEL DE COLMENARES	9+070	9+120	50 m	Túnel en mina. vía doble	TS: Calcarenitas/areniscas calcáreas. RMR estimado mayor que 30.	Medios mecánicos/rozadora	ST-L: 100% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	BÓVEDA Y HASTIALES: 30 cm HM-30 + fibras polipropileno (5 kg/m3) CONTRABÓVEDA: 60 cm
		9+120	9+150	30 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas RMR estimado menor o igual que 30. TS: Calcarenitas/areniscas calcáreas. RMR estimado mayor que 30.	Medios mecánicos/rozadora	ST-P: 40%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 60% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		9+150	9+170	20 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas. RMR estimado menor o igual que 30.	Medios mecánicos	ST-P: 90%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 10% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		9+170	9+200	30 m		TM: Margas, limos calcáreos y calcarenitas RMR estimado menor o igual que 30. TS: Calcarenitas/areniscas calcáreas. RMR estimado mayor que 30.	Medios mecánicos/rozadora	ST-P: 40%: 0-25 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Sección de excavación: Avance y Destroza (Destroza en 2 fases). Pase de avance 1 m ST-L: 60% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		9+200	9+250	50 m		TS: Calcarenitas/areniscas calcáreas. RMR estimado mayor que 30.	Medios mecánicos/rozadora	ST-L: 100% Bulonado en malla 1,5x1,5 o 1x1 m, L=4 m. 10-15 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Sección de excavación: Avance y Destroza. Pase de avance 2-3 m	
		9+250	9+280	30 m		TS: Calcarenitas/areniscas calcáreas. RMR estimado mayor que 30.	Medios mecánicos/rozadora	ST-E: 100%:30 cm de Hormigón Proyectado reforzado con fibras (HRP-30). Cerchas metálicas (HEB-160). Bulonado ocasional en malla 1x1 m, L=4 m. Paraguas de micropilotes	
		9+280	9+450	170 m		Taludes de desmonte a ambos lados de la vía Incluye Falso Túnel convencional (170 m)	T <sub>MG</sub> : Margas, arcillas, areniscas con niveles de calizas. Grado de meteorización III y RMR estimado menor que 30.	Medios mecánicos	

Tabla 16. Cuadro resumen actuaciones en túneles.

## 7. FALSOS TÚNELES

### 7.1. Falsos túneles de tipo bóveda

En el diseño del trazado para la Variante de Torrellano se han considerado sendos falsos túneles de entrada y salida para el túnel que atraviesa la Sierra de Colmenares en vía doble.

Además, en la boca de salida (emboquille sur), se define un falso túnel en vía única para el ramal de mercancías que conecta con la infraestructura actual de la línea 336. El tramo de transición (telescopio) podrá hacerse mediante una estructura tipo bóveda de sección variable.

Así el falso túnel de entrada (emboquille norte) se excavará en materiales terciarios, previsiblemente las margas de la UG-T2. La cimentación se realizará también en estos materiales, por lo que se podrá llevar a cabo una cimentación directa mediante zapatas o losa de cimentación.

El falso túnel de salida (emboquille sur) afectará en parte (8-15 m) a materiales cuaternarios (UG-Q2). El terreno de apoyo se situará en materiales del sustrato terciario, que, dada su aparición de manera alternante, podrán ser tanto las margas y calcarenitas de la UG-T2, como las areniscas de la formación UG-T1. En cualquier caso, la cimentación podrá ser directa sobre estos materiales, en forma de zapatas o losa de cimentación.

EJE	TÚNEL	TIPO	DENOMINACIÓN	DE PK	A PK	LONGITUD	UG
Entreeje vía general Alacant Terminal- Aeropuerto El Altet	Túnel de Colmenares	Vía doble	Falso Túnel Inicial	8+210	8+240	30	UG-T2
			Falso Túnel Final	9+280	9+450	170	UG-Q2/ UG-T2
Ramal de mercancías. Conexión L336	Túnel de Colmenares	Vía única	Falso Túnel	0+000	0+170	170	UG-Q2/ UG-T2

Tabla 17: Tabla resumen de falsos túneles de tipo convencional

### 7.2. Falsos túneles entre pantallas

A lo largo del trazado propuesto, se ha definido un tramo que discurre en falso túnel entre pantallas, concretamente entre los PK 2+630 y PK 3+160, con una longitud de 530 metros.

No se ha detectado nivel freático en las investigaciones geotécnicas analizadas, por lo que el tramo se podrá ejecutar mediante pantalla discontinua de pilotes. Teniendo en cuenta la profundidad máxima de excavación (unos 10 m) y las características geotécnicas de los materiales afectados (unidad geotécnica QG), diámetro de pilotes de 1,00 m con separación entre ejes de 1,00 a 1,20 m podrán ser suficientes. La pantalla se empotrará en materiales de la formación QG una longitud de 5-6 m, no siendo previsible que el pie de los pilotes llegue a alcanzar el sustrato de margas terciarias infrayacente T2.

Debido a la proximidad de edificaciones al trazado en la parte final del tramo, así como el cruce de varias calles y caminos, se aconseja el procedimiento de excavación “cut-and-cover”. Este procedimiento permite la excavación interior del tramo bajo la losa de cubierta y al amparo de la pantalla de pilotes, permitiendo mantener los tráficos en superficie mientras se está ejecutando la excavación en profundidad. Este método, además, posibilita el reducir el número de niveles de anclaje o apuntalamiento provisional ya que la losa de cubierta funciona como arriostramiento en coronación de la pantalla, lo que mejora su comportamiento estructural y reduce los movimientos horizontales en coronación que podrían provocar asentamientos verticales en las estructuras próximas.

En el siguiente cuadro se resumen las características del tramo entre pantallas mencionado.

DENOMINACIÓN	DE PK	A PK	LONGITUD	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXCAVACIÓN	UG	TIPOLOGÍA RECOMENDADA
TRAMO ENTRE PANTALLAS	2+630	3+160	530	9,5 m (cota roja)	Q2	PANTALLA DISCONTINUA DE PILOTES $\varnothing$ 1,00 c/1.20-1.30 m

Tabla 18: Tramos entre pantallas características principales

**PLANOS**

**PLANO 1. PERFIL GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO. TÚNEL DE COLMENARES.**

**Leyenda Geológica**

<b>Rellenos antrópicos</b>		R <sub>V</sub>	Rellenos antrópicos vertidos.
		R <sub>C</sub>	Rellenos antrópicos controlados.
		R <sub>X</sub>	Rellenos antrópicos indiferenciados.
<b>Cuaternario</b>		Q <sub>C</sub>	Coluvial.
		Q <sub>R</sub>	Cauces actuales de ríos y ramblas.
		Q <sub>FV</sub>	Fondos de vaguada.
		Q <sub>AL</sub>	Aluvial.
		Q <sub>G</sub>	Glacis, mantos de arroyada, abanicos aluviales y terrazas recientes (inferiores).
		Q <sub>TS</sub>	Terrazas antiguas (superiores).
<b>Terciario</b>		T <sub>S</sub>	Calcarenitas/areniscas calcáreas.
		T <sub>M</sub>	Margas, limos calcáreos y calcarenitas.
		T <sub>MG</sub>	Margas y limos calcáreos.
			Contacto Litológico
			Contacto Discordante
			Contacto supuesto
			Falla

**Estudio Informativo del proyecto de remodelación de la Red Arterial Ferroviaria de Alicante (2003)**

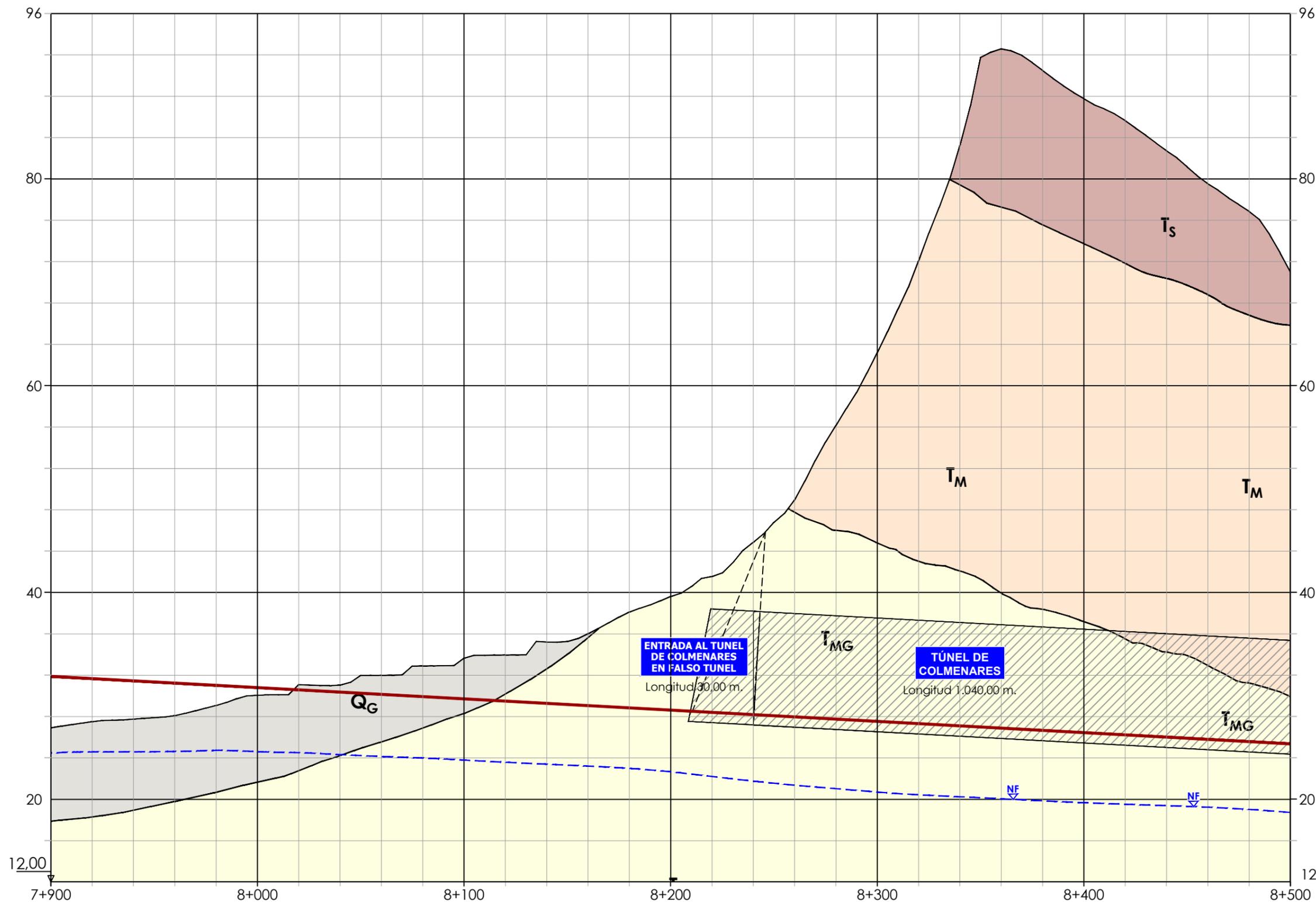
-  CALICATA MECÁNICA
-  PENETRACIÓN DINAMICA (DPSH)
-  SONDEO MECÁNICO

**Proyecto constructivo de plataforma: RAF de Alicante. Variante de trazado Alicante-Torrellano. Tramo: Alicante-Túnel de Colmenares (2009)**

-  CALICATA MECÁNICA
-  PENETRACIÓN DINAMICA (DPSH)
-  SONDEO MECÁNICO
-  TALUDES
-  ESTACIONES GEOMECÁNICAS
-  PUNTO DE OBSERVACIÓN

← ALICANTE

MURCIA →



P.K.	7+900	8+000	8+100	8+200	8+300	8+400	8+500
	UNIDAD GEOLÓGICA		T <sub>MG</sub>		T <sub>MG</sub> / T <sub>M</sub>		
	TIERRA VEGETAL (m)						
	FONDO EXPLANACIÓN / CAPA DE FORMA						
TUNEL	METODOS EXCAVACIÓN			MEDIOS MECÁNICOS			
	CALIDAD DEL MACIZO			MEDIA-BAJA RMR ≤ 30			
	SOSTENIMIENTO			100% ST-E	100% ST-P	90% ST-P 10% ST-L	
	OBSERVACIONES			EMBOQUILLE			



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA  
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO COMPLEMENTARIO DEL PROYECTO DE REMODELACIÓN DE LA RED ARTERIAL FERROVIARIA DE ALICANTE. VARIANTE DE TORRELLANO

AUTOR **prontec**

ESCALA H=1/2.000 V=1/400  
0 20 40m / 0 4 8m  
NUMÉRICA GRÁFICA

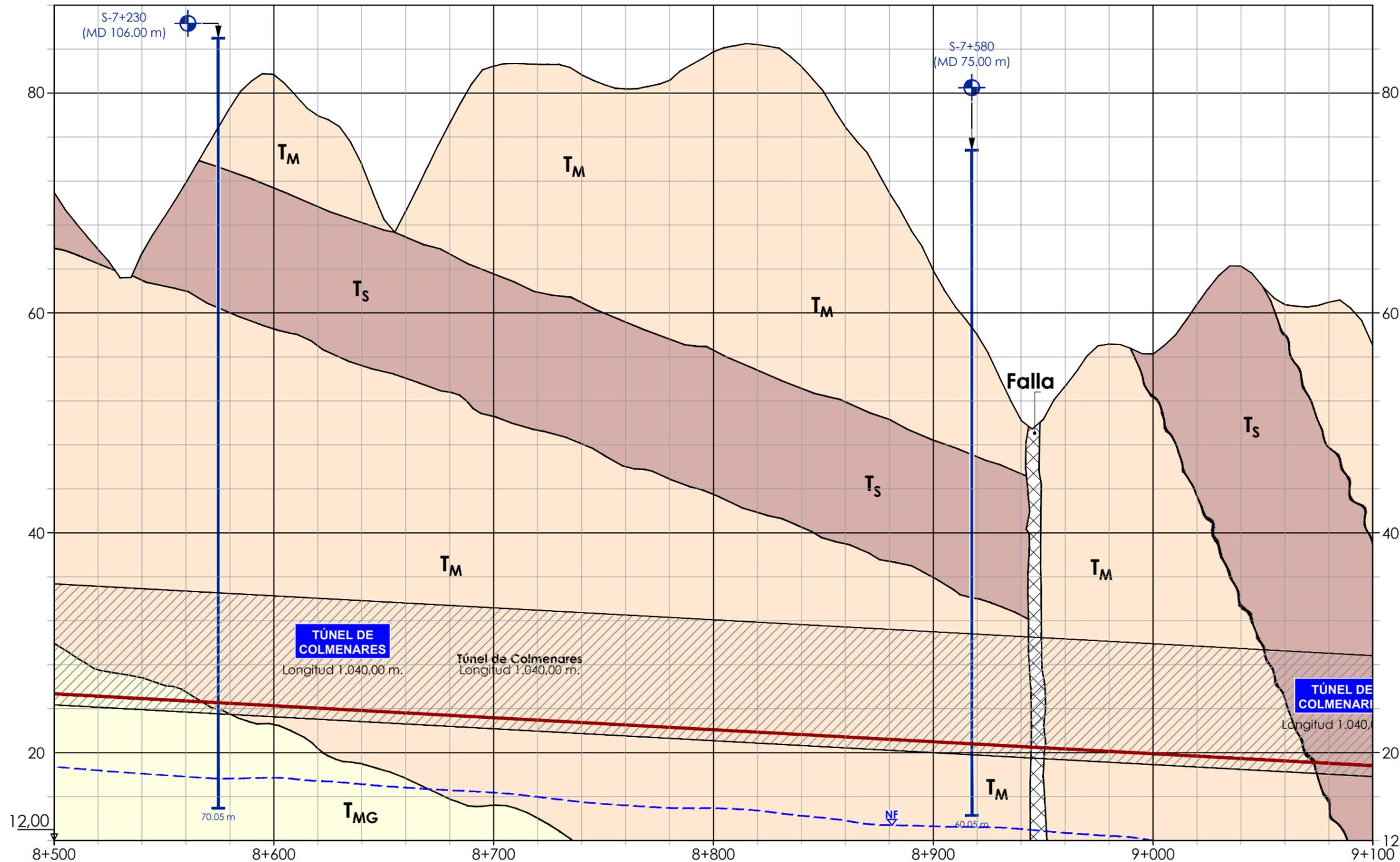
FECHA FEBRERO 2023

Nº DE PLANO 1  
HOJA 1 DE 3

TÍTULO DEL PLANO PERFIL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO TUNEL DE COLMENARES.

← **ALICANTE**

**MURCIA** →



P.K.

UNIDAD GEOLÓGICA	T <sub>MG</sub> / T <sub>M</sub>	T <sub>M</sub>	FALLA	T <sub>M</sub>	T <sub>M</sub> / T <sub>S</sub>	T <sub>S</sub>
TIERRA VEGETAL (m)						
FONDO EXPLANACIÓN/ CAPA DE FORMA						
TUNEL	MÉTODOS EXCAVACIÓN	MEDIOS MECÁNICOS				
	CALIDAD DEL MACIZO	MEDIA-BAJA RMR ≤ 30				
	SOSTENIMIENTO	90% ST-P 10% ST-L				
	OBSERVACIONES			BAJA GM-IV-V	MEDIA-BAJA RMR ≤ 30 50%RMR≤30 / 50%RMR>30	100% ST-E 90% ST-P ; 10% ST-L 40% ST-P 60% ST-L 100% ST-L
			FALLA			

MEDIOS MECÁNICOS / ROZADORA  
MEDIA-ALTA RMR > 30



SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA  
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO COMPLEMENTARIO DEL PROYECTO DE REMODELACIÓN DE LA RED ARTERIAL FERROVIARIA DE ALICANTE. VARIANTE DE TORRELLANO

AUTOR **prontec**

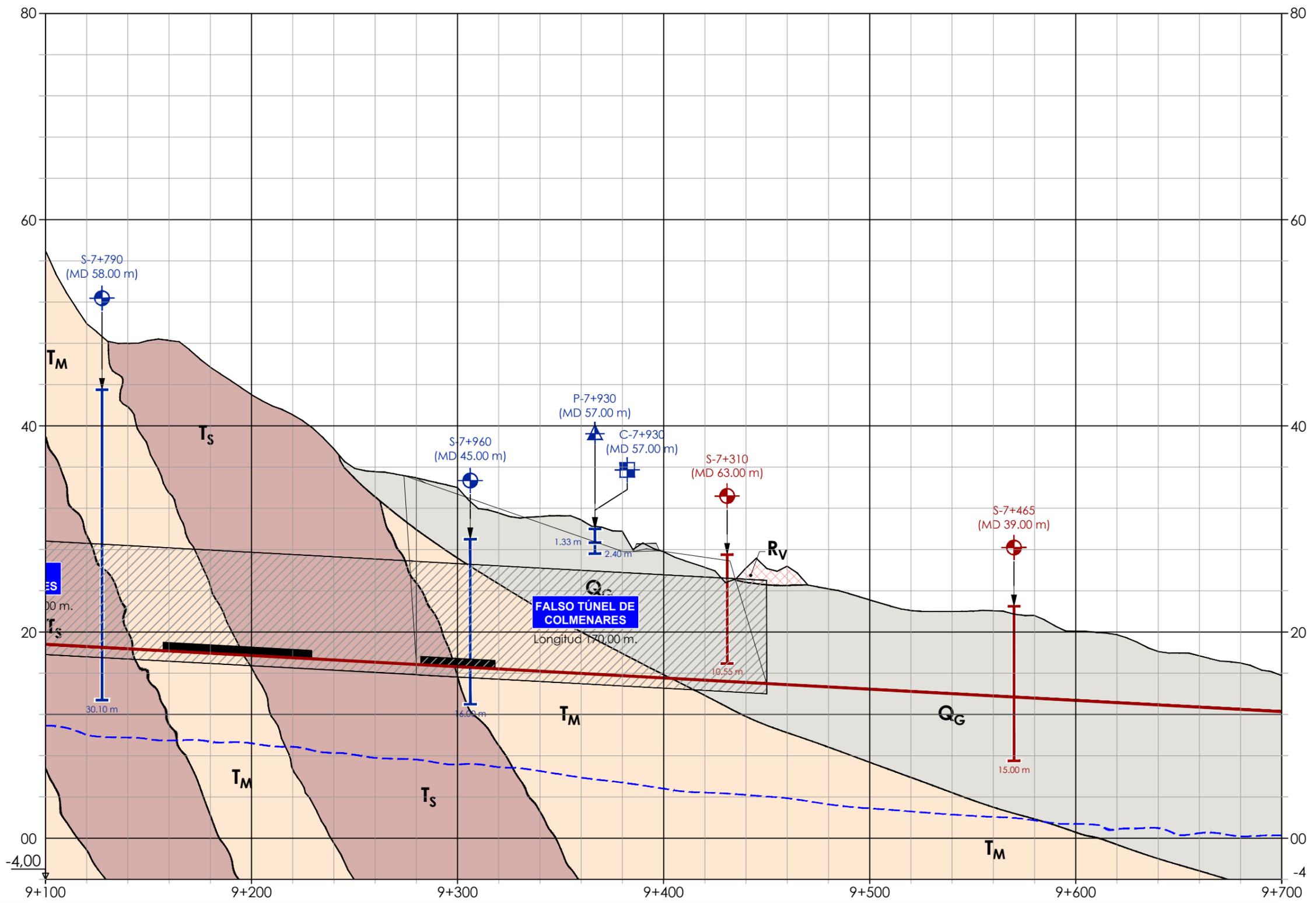
ESCALA H=1/2.000 V=1/400  
0 20 40m / 0 4 8m  
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA FEBRERO 2023  
Nº DE PLANO 1  
HOJA 2 DE 3

TÍTULO DEL PLANO PERFIL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO TÚNEL DE COLMENARES.

← ALICANTE

MURCIA →



P.K.

9+100      9+200      9+300      9+400      9+500      9+600      9+700

UNIDAD GEOLÓGICA	T <sub>s</sub>	T <sub>s</sub> / T <sub>m</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>m</sub> / T <sub>s</sub>	T <sub>s</sub>
TIERRA VEGETAL (m)					
FONDO EXPLANACIÓN / CAPA DE FORMA					
MÉTODOS EXCAVACIÓN	MEDIOS MECÁNICOS / ROZADORA				
CALIDAD DEL MACIZO	MEDIA-ALTA 50% RMR ≤ 30 / RMR > 30	MEDIA-BAJA RMR ≤ 30	MEDIOS MECÁNICOS / ROZADORA		
SOSTENIMIENTO	40% ST-L / 60% ST-L	70% ST-L / 10% ST-L	50% RMR ≤ 30 / 50% RMR > 30	MEDIA-ALTA RMR > 30	
OBSERVACIONES				100% ST-L	100% ST-E
				EMBOQUILLE	



SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA  
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA RED FERROVIARIA

TÍTULO ESTUDIO INFORMATIVO COMPLEMENTARIO DEL PROYECTO DE REMODELACIÓN DE LA RED ARTERIAL FERROVIARIA DE ALICANTE. VARIANTE DE TORRELLANO

AUTOR **prontec**

ESCALA H=1/2.000 V=1/400  
NUMÉRICA GRÁFICA

FECHA FEBRERO 2023

Nº DE PLANO 1  
HOJA 3 DE 3

TÍTULO DEL PLANO PERFIL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO TÚNEL DE COLMENARES.