



Universidad de León



Escuela Superior y
Técnica de Ingenieros de
Minas

GRADO EN INGENIERÍA MINERA

TRABAJO FIN DE GRADO

CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA EN LA PROVINCIA DE CÁCERES.

León, septiembre de 2016

Autor: Andrea González Fernández
Tutor: Ana María Castañón García

El presente proyecto ha sido realizado por Dña. **Andrea González Fernández**, alumna de la **Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas** de la **Universidad de León** para la obtención del título de Grado en Ingeniería Minera.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por Dña. **Ana María Castañón García**, profesora del Grado en Ingeniería Minera.

Visto Bueno

Fdo.: Dña. **Andrea González Fernández**
El autor del Trabajo Fin de Grado

Fdo.: Dña. **Ana María Castañón García**
El Tutor del Trabajo Fin de Grado



RESUMEN

El presente proyecto trata sobre la construcción de un túnel ferroviario en la provincia de Cáceres perteneciente a la línea Madrid-Extremadura, realizando el estudio del terreno atravesado por el túnel, el cálculo de los parámetros necesarios para la realización de la voladura, tanto para la perforación de los barrenos como para su carga con explosivo.

Se realizará un estudio del sostenimiento necesario basado en otras experiencias similares, así como en clasificaciones geomecánicas aceptadas.

También se ha realizado un estudio de las necesidades de aire durante la construcción del túnel, ya sea para la disipación de los humos producidos por las máquinas de combustión interna como por los generados durante la realización de las voladuras, así como para la puesta en funcionamiento de la maquinaria que emplea aire comprimido para su funcionamiento y la respiración de los trabajadores que puedan encontrarse en el lugar de trabajo.

Así mismo, se realiza un estudio económico de los recursos, tanto humanos como materiales, que se van a emplear durante la realización de la obra, dando lugar a un presupuesto que engloba todos los gastos que pudieran surgir durante la construcción del túnel.

Para concluir se realiza un documento sobre seguridad y salud en el que se recogen los posibles riesgos que se pueden sufrir durante la ejecución del túnel, así como formas de prevenirlos y su grado de peligrosidad.



ABSTRACT

This project is the construction of a railway tunnel in the province of Cáceres belonging to the Madrid-Extremadura line, making the study of the land crossed by the tunnel, the calculation of the parameters necessary for carrying out the bombing for both drilling of boreholes as for loading explosive.

A study of support needed will be made based on similar experiences and in accepted geomechanical classifications.

There has also been a study of the needs of air for tunnel construction , either for dissipation of the fumes produced by internal combustion engines such as those generated during the performance of blasting and for commissioning machinery that uses compressed air for operation and breathing of workers who may be in the workplace .

Likewise, an economic study of resources, both human and material, to be used during the making of the work, leading to a budget that covers all expenses that may arise during the construction of the tunnel is done.

To conclude a paper on safety and health that potential risks that may suffer during execution of the tunnel are collected, as well as ways to prevent them and their degree of danger is performed.

ÍNDICE MEMORIA

1. Introducción.....	3
2. Objeto	3
3. Situación geográfica	4
4. Características geomecánicas	5
5. Geología y geotecnia	6
5.1. Geología	6
5.1.1. Complejo esquistico	6
5.1.2. Cuarcitas, pizarras y areniscas.....	7
5.1.3. Cuarcitas	7
5.1.4. Pizarras y cuarcitas	7
5.1.5. Gravillas areno-arcillosas	7
5.1.6. Fallas	8
5.2. Tectónica	9
5.3. Hidrogeología.....	9
6. Sismicidad	11
7. Ejecución	12
7.1. Método de excavación.....	12
7.2. Fases de ejecución	12
7.3. Sistemas de excavación	13
7.4. Excavación mediante perforación y voladura	15

7.4.1. Volumen de excavación	15
7.4.2. Longitud de pase	15
7.4.3. Número de voladuras.....	15
8. Saneamiento y desescombro	16
9. Sostenimiento y revestimiento	16
9.1. Sostenimiento	16
9.2. Revestimiento	21
10. Seguimiento y auscultación.....	22
10.1. Instrumentos de auscultación	23
11. Ventilación	25
12. Instalaciones auxiliares.....	27
12.1. Aire comprimido	27
12.2. Desagüe	27
13. Planificación.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS A LA MEMORIA

Anexo I: Cálculos de las voladuras	III
Anexo II: Cálculos del sostenimiento.....	XVI
Anexo III: Cálculos de la ventilación.....	XXV
Anexo IV: Cálculos de las instalaciones auxiliares.....	XXXII

ÍNDICE DE PLANOS

Plano nº 1: Situación.....	2
Plano nº 2: Geología.....	3
Plano nº 3: Sección del túnel.....	4
Plano nº 4: Distribución de los barrenos.....	5
Plano nº 5: Secuencia de encendido.....	6

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1. Prescripciones técnicas generales.....	5
1.1. Obra a la que se aplicará este pliego de prescripciones técnicas.....	5
1.2. Normas para la realización de trabajos con maquinaria para obras	5
1.3. Materiales, piezas y equipos en general	7
1.4. Protección de la calidad de las aguas y sistemas de depuración primaria.....	8
1.5. Tratamiento y gestión de residuos.....	8
1.6. Desarrollo de la vigilancia ambiental	9
2. Marco normativo	9
3. Disposiciones generales	11
3.1. Disposiciones que además de la legislación general regirán durante la vigencia del contrato.....	11
3.2. Precauciones a adoptar durante la ejecución de la obra	11
3.3. Explosivos y equipos para explosivos.....	12
3.4. Plan de seguridad y salud	13
3.5. Vigilancia de las obras	14
3.6. Responsabilidades y obligaciones del contratista	14
4. Excavación en túneles y trabajos en emboquilles	15
4.1. Condiciones generales.....	15
4.2. Condiciones del proceso de excavación.....	15
4.2.1. Excavación con explosivos	15
4.2.2. Excavación mecánica	17

4.2.3. Saneos.....	17
4.2.4. Longitud de avance	18
4.2.5. Excesos o defectos en la excavación.....	18
4.2.6. Contención de taludes con bulonajes, mallazo, hormigón proyectado y escollera.....	19
4.2.7. Paraguas de protección y vigas de atado	19
4.2.8. Túneles artificiales y picos en flauta	19
4.3. Medición y abono	20
5. Sostenimiento en túnel	20
5.1. Condiciones generales	20
5.1.1. Tipos de sostenimiento	20
5.1.2. Normas generales de ejecución	21
5.1.3. Precauciones especiales.....	22
5.1.4. Refuerzos.....	22
5.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	23
5.2.1. Bulones	23
5.2.2. Mallazo	26
5.2.3. Fibras de acero.....	27
5.2.4. Cerchas	27
5.2.5. Hormigón proyectado.....	29
5.2.6. Paraguas de micropilotes.....	33
6. Inyección del trasdós del revestimiento del túnel	34
6.1. Definición y condiciones generales.....	34
6.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	34
7. Revestimiento de túneles.....	35

7.1. Definición y condiciones generales.....	35
7.2. Elementos complementarios del revestimiento de túneles en mina y túneles artificiales	40
8. Impermeabilización y drenaje del túnel	40
8.1. Definición y condiciones generales.....	40
8.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	41
9. Tratamientos especiales.....	43
9.1. Definición y condiciones generales.....	43
9.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	44
9.2.1. Micropilotes para formación de paraguas en el frente de excavación.....	44
9.2.2. Inyección de lechada de cemento o mortero	44
9.2.3. Bulonado del frente	46
10. Control, auscultación y seguimiento del túnel	46
10.1. Definición y condiciones generales.....	46
10.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	47
10.2.1. Topografía de interior.....	47
10.2.2. Control de secciones transversales, gálidos y soleras	47
10.2.3. Otros controles y mantenimientos rutinarios.....	47
10.2.4. Medidas de convergencia, extensométricas y de presión.....	48
10.2.5. Realización de medidas	49
10.2.6. Ayudas a la auscultación y seguimiento técnico	52
10.2.7. Análisis y valoración de la calidad geotécnica de los terrenos atravesados	53
10.2.8. Control de calidad del bulonado.....	53
10.2.9. Control de calidad del hormigón proyectado	53

11. Puesta a tierra de elementos metálicos y armaduras en túneles	54
11.1. Definición y condiciones generales.....	54
11.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	54
12. Integración ambiental: extendido de tierra vegetal	56
12.1. Condiciones generales	56
12.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	57

ÍNDICE PRESUPUESTO

1.	Mediciones	2
2.	Precios unitarios	4
3.	Precios por partida.....	6
4.	Presupuesto total	10

ÍNDICE DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. Introducción.....	4
1.1. Objeto	4
2. Datos generales de la obra.....	4
2.1. Datos generales de la obra.....	4
2.2. Descripción general de la obra	5
2.3. Identificación de los trabajadores y tipos de contrato laboral	6
2.4. Identificación de las contratistas y sus trabajadores.....	6
2.5. Descripción de actividades e identificación de los procesos.....	7
3. Organización de la prevención	7
3.1. Política preventiva.....	7
3.2. Empresario.....	8
3.3. Director facultativo.....	8
3.4. Modalidad preventiva.....	9
3.5. Recurso preventivo.....	9
3.6. Representantes de los trabajadores y dedicación en materia de seguridad y salud.....	9
3.7. Responsabilidades y funciones en materia preventiva	10
4. Identificación de peligros derivados de la actividad	10
4.1. Identificación de los lugares de trabajo	10
4.2. Identificación de los puestos de trabajo	10
4.3. Peligros en los lugares de trabajo	11

5. Evaluación de riesgos laborales en la empresa	14
5.1. Planificación de la actividad preventiva.....	15
6. Coordinación de actividades empresariales	16
6.1. Medios de comunicación establecidos	16
7. Procedimientos de trabajo, instrucciones y autorizaciones	16
8. Formación.....	17
9. Información	17
9.1. Información inicial por puesto de trabajo.....	17
9.2. Plan de reciclaje e información continua.....	18
10. Plan de emergencia y primeros auxilios.....	18
10.1. Introducción.....	18
10.2. Clasificación de emergencias	18
10.3. Plan de autoprotección y evacuación del túnel.....	19
10.4. Equipos de emergencia: funciones y responsabilidad.....	21
10.4.1. Composición de los equipos de intervención	22
10.4.2. Medios humanos y formación	23
10.4.3. Simulacros	23
11. Actuaciones en caso de incendio y explosiones	24
11.1. Medidas de protección ante el explosivo	26
11.2. Actuación en caso de accidentes laborales.....	28
11.3. Legislación aplicable.....	29
11.4. Conclusión.....	30
12. Vigilancia de la salud	30
12.1. Reconocimientos médicos.....	30
13. Control y evaluación de la actividad preventiva	31

13.1. Controles periódicos de las condiciones de trabajo y de las actividades de los trabajadores	31
13.2. Seguimiento de los accidentes, incidentes y enfermedades profesionales	32
13.3. Índices de siniestralidad	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de Alta Velocidad Madrid-Extremadura.....	3
Figura 2. Situación geográfica.....	4
Figura 3. Características del túnel	5
Figura 4. Esquema geológico regional	9
Figura 5. Climograma.....	10
Figura 6. Sismicidad en España.....	11
Figura 7. Sección del túnel	13
Figura 8. Tipo de jumbo seleccionado	14
Figura 9. Pala CAT 980M y camión CAT 771D.....	16
Figura 10. Esquema de la colocación de instrumentos de auscultación de interior	24
Figura 11. Esquema de funcionamiento de un inclinómetro.....	24
Figura 12. Extensómetro de varillas	25
Figura 13. Detalle de la primera sección	IV
Figura 14. Detalle de la segunda sección	VI
Figura 15. Detalle de la tercera sección.....	VII
Figura 16. Secuencia de encendido	XVI
Figura 17. Ábaco de Grimstad y Barton.....	XVIII
Figura 18. Sostenimiento tipo I	XIX
Figura 19. Sostenimiento tipo II.....	XX
Figura 20. Sostenimiento tipo III.....	XXI
Figura 21. Sostenimiento tipo IV	XXII
Figura 22. Sostenimiento tipo V.....	XXIII

Figura 23. Sostenimiento tipo VI	XXIV
Figura 24. Línea teórica de excavación	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Unidades geológicas.....	6
Tabla 2. Características geotécnicas.....	14
Tabla 3. Nivel de proyecto	20
Tabla 4. Concentración límite de gases	26
Tabla 5. Consumo de explosivo	XV
Tabla 6. Recomendaciones de Bieniawski	XVII
Tabla 7. Resistencia a compresión	31

DOCUMENTO 1

MEMORIA



ÍNDICE MEMORIA

1. Introducción.....	3
2. Objeto	3
3. Situación geográfica	4
4. Características geomecánicas	5
5. Geología y geotecnia	6
5.1. Geología	6
5.1.1. Complejo esquistico	6
5.1.2. Cuarcitas, pizarras y areniscas.....	7
5.1.3. Cuarcitas	7
5.1.4. Pizarras y cuarcitas	7
5.1.5. Gravillas areno-arcillosas	7
5.1.6. Fallas	8
5.2. Tectónica	9
5.3. Hidrogeología.....	9
6. Sismicidad	11
7. Ejecución	12
7.1. Método de excavación.....	12
7.2. Fases de ejecución	12
7.3. Sistemas de excavación	13



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



7.4. Excavación mediante perforación y voladura	15
7.4.1. Volumen de excavación	15
7.4.2. Longitud de pase	15
7.4.3. Número de voladuras.....	15
8. Saneamiento y desescombro	16
9. Sostenimiento y revestimiento	16
9.1. Sostenimiento	16
9.2. Revestimiento.....	21
10. Seguimiento y auscultación.....	22
10.1. Instrumentos de auscultación	23
11. Ventilación	25
12. Instalaciones auxiliares.....	27
12.1. Aire comprimido	27
12.2. Desagüe	27
13. Planificación.....	28



1. Introducción

El túnel objeto de proyecto pertenece a la Línea Ferroviaria de alta velocidad Madrid-Extremadura, y corresponde al tramo de Grimaldo-Casas de Millán, situado en la provincia de Cáceres.

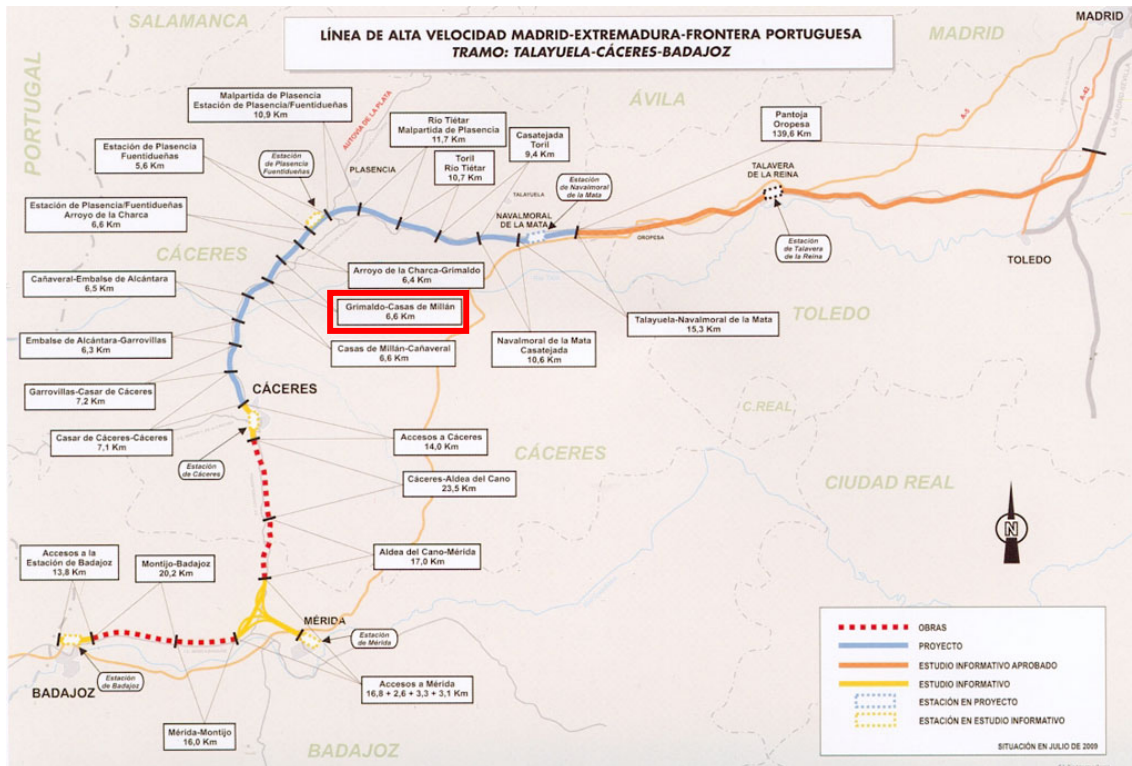


Figura 1. Línea de Alta Velocidad Madrid-Extremadura

2. Objeto

El objeto de este proyecto es la ejecución de un túnel ferroviario de Alta Velocidad en el tramo Grimaldo-Casas de Millán, perteneciente a la línea Madrid-Extremadura.

El túnel tendrá una longitud de 3320m, iniciado en el PK 1+360 por el lado norte y finalizando en el PK 4+680 por el lado sur. Consta de dos falsos túneles que inician en



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



el P.K. 1+145 y acaba en el P.K. 1+360 por el lado norte, y por el lado sur se inicia en el PK 4+680 y acaba en el PK 4+740, que tendrán una longitud de 275m, confiriendo al túnel una longitud total de 3.595m.

3. Situación geográfica

El túnel perteneciente al tramo Grimaldo-Casas de Millán transcurre por los municipios de Cañaveral y Casas de Millán, ubicados en la zona centro de la provincia de Cáceres, quedando detallada su ubicación en las hojas 622, Torrejoncillo, y 650, Cañaveral, del Mapa Geológico Nacional, serie MAGNA50, segunda edición.

El inicio del túnel se ubicará en las coordenadas UTM (huso 29) $39^{\circ}50'24.3''N$ $6^{\circ}20'31.6''W$, y terminará en el punto $39^{\circ}48'49.9''N$ $6^{\circ}21'33.3''W$.



Figura 2. Situación geográfica.

4. Características geométricas del túnel

El túnel de Santa Marinase ha proyectado con las siguientes características:

- ❖ Longitud total: 3.595m
- ❖ Longitud túnel: 3.320m
- ❖ Radio de excavación: 6.400m
- ❖ Sección útil: 85m²
- ❖ Tipo de sección: sección en herradura

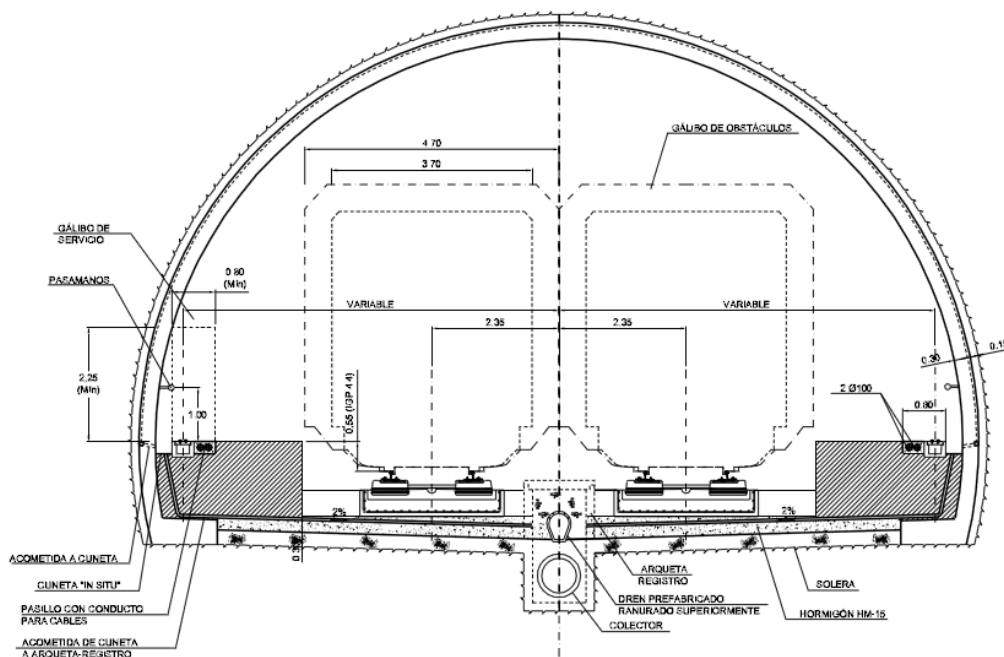


Figura 3. Características del túnel



5. Geología y geotecnia

Durante la construcción de este túnel se van a atravesar una serie de unidades litológicas de diferentes épocas y potencias. En la tabla 1, se muestran las principales unidades geológicas y geotécnicas:

Tabla 1. Unidades geológicas

MATERIALES	EDAD	POTENCIA (m)
Complejo esquisto-grauváquico	Precámbrico	4500
Pizarras, areniscas y cuarcitas	Ordovícico inferior	500
Cuarcita Armoricana	Ordovícico	150-300
Pizarras con intercalaciones de cuarcitas	Ordovícico	300-350
Conglomerados	Terciario	80

5.1. Geología

5.1.1. Complejo esquistico.

Esta unidad se encuentra desde el emboquille norte hasta el PK 1+482 y entre el PK 4+430 y el emboquille sur, y está constituida fundamentalmente por pizarras.

En la zona norte del túnel estos materiales se encuentran fuertemente tectonizados, al situarse entre la falla de Cañaveral y la falla del Dique Alentejo-



Plasencia, presentándose en forma de pizarras con matriz limo-arcillosa, por lo que tendrán un comportamiento de tipo suelo, clasificándose en su mayoría como arenas limosas y arenas arcillosas, sin embargo en la zona sur se encuentran sin tectonizar.

5.1.2. Cuarcitas, pizarras y areniscas

Estos materiales son atravesados por el túnel en el flanco sur del sinclinal de Cañaveral, entre los puntos kilométricos 3+760 y 4+430. Esta unidad está formada por pizarras, areniscas y cuarcitas, siendo más abundantes los niveles de cuarcita y arenisca que los de pizarra.

5.1.3. Cuarcitas

Esta unidad corresponde a la Cuarcita Armoricana, básicamente corresponde a cuarcitas con escasas intercalaciones de pizarra y arenisca, en el entorno de la falla de Cañaveral y las zonas noroeste y sureste de la falla se encuentran tectonizadas.

5.1.4. Pizarras y cuarcitas

Estos materiales son atravesados por el túnel en el núcleo del sinclinal de Cañaveral, entre los puntos kilométricos 3+150 y 3+570.

Se trata de una serie pizarrosa con intercalaciones cuarcíticas y de arenisca.

5.1.5. Gravas areno-arcillosas

Se trata de depósitos sedimentarios del terciario litológicamente constituidos por una masa de cantos de cuarcita, arenisca y pizarra embebidos en una matriz arcillosa rojiza y, a veces, sin presencia de matriz. Dentro de estos depósitos se encuentran algunos tramos poco consolidados y otros más compactos con la matriz ligeramente



litificada. Esta es la unidad de mayor longitud que atraviesa el túnel, extendiéndose entre los puntos kilométricos 1+492 y 1+660.

5.1.6. Fallas

Se distinguen dos tipos de tramos en falla en el trazado del túnel, por un lado las zonas de fallas noroeste-sureste, particularmente en el PK 2+804, transversales al túnel y con una potencia estimada de 10 metros, siendo su composición correspondiente a fragmentos de roca de la unidad que atraviesa, es decir, cuarcita Armoricana, así como arenas de sílice de tamaño fino a medio homogéneas. El espesor detectado de estas arenas no supera los 20 metros.

Por otro lado se encuentra la falla de Cañaveral, en el PK 2+260, la cual es subparalela al trazado del túnel. Presenta unas arcillas gris-verdoso con brillos satinados, muy plástica con un espesor aparente de unos 10 metros.

Teniendo en cuenta que la intersección del trazado con la falla es oblicua, se considera que el terreno influenciado por su acción se extenderá en unos 140 metros, de los cuales 74 metros corresponden a las arcillas, y el resto a cuarcitas con un grado de fracturación progresivamente menor con la distancia al eje de la falla.

5.2. Tectónica

Los accidentes geológicos más destacables de la zona son el dique Alentejo-Plasencia y la falla de Cañaveral.

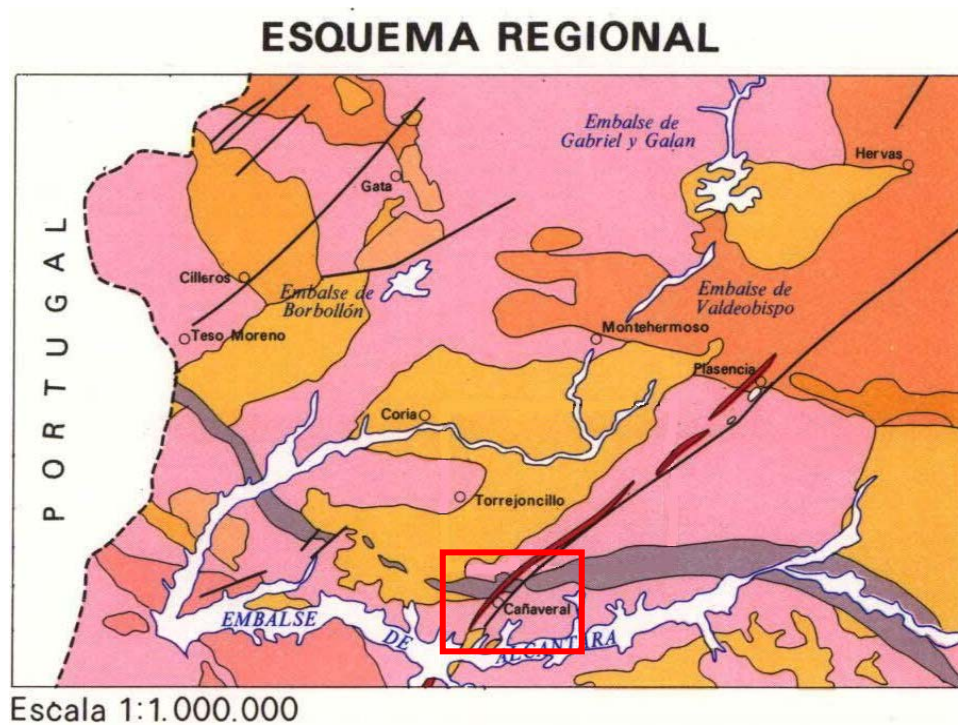


Figura 4. Esquema geológico regional

5.3. Hidrogeología

La zona del túnel presenta un clima cálido y templado. En invierno hay mucha más lluvia que en verano.

La temperatura media anual es de 14,9°C, y la precipitación media en el ámbito de la zona estudiada es de 563mm al año.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.

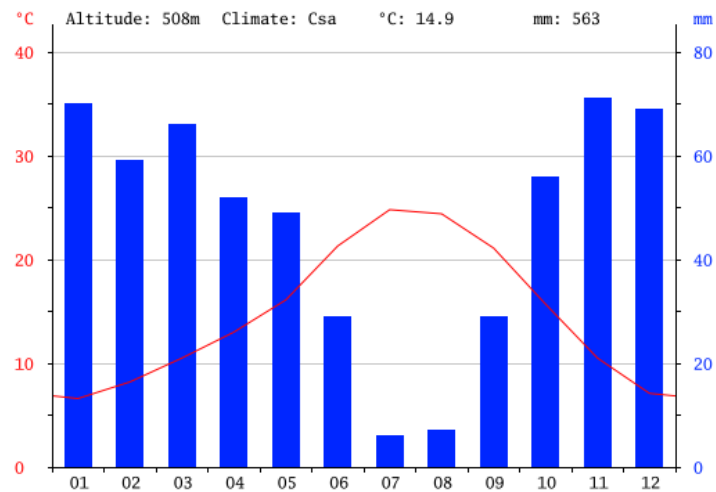


Figura 5. Climograma

El régimen hidrogeológico está claramente condicionado por las familias de discontinuidades, a través de las cuales circulará el agua. Los accidentes tectónicos, principalmente las fallas, condicionarán en gran medida la circulación de las aguas, ya que en su entorno, los materiales se encuentran tectonizados, incrementándose la fracturación.

La competencia del material es también fundamental en el funcionamiento hidrogeológico, ya que a mayor competencia, las fracturas serán más abundantes y nítidas. Así la cuarcita Armoricana, que es el material más competente de los afectados, presenta una fracturación mayor y más definida; por otro lado, sus productos de meteorización serán fundamentalmente arenas y, evidentemente, los rellenos arenosos dentro de las fracturas contribuirán a una mayor permeabilidad del macizo rocoso.

La zona central del túnel, en la que se encuentran los materiales ordovícicos, es la zona de recarga y almacenamiento del acuífero de Santa Marina, mientras que la falla



de Cañaveral es la zona de descarga del acuífero, siendo frecuente la concentración de puntos de agua asociados a su intersección con otras fallas transversales

6. Sismicidad

Según se puede observar en el mapa de sismicidad de España, la zona por la que transcurre el túnel tiene un grado de intensidad IV, lo que quiere decir que la percepción del temblor sería de carácter moderado y los daños potenciales serían prácticamente inexistentes.



Figura 6. Sismicidad en España



7. Ejecución

7.1. Método de excavación

El método que se empleará para la ejecución del túnel será el **Nuevo Método Austriaco NATM**.

Por lo tanto la excavación se llevará a cabo mediante técnicas convencionales con ayuda de explosivos y por medios mecánicos, como retroexcavadoras con martillo hidráulico, en los tramos en los que la roca presente una mala calidad.

Así pues se realizará la excavación en fases de avance y destroza mediante voladura, salvo en los tramos de peor calidad geotécnica que en los que se hará mediante medios mecánicos.

7.2. Fases de ejecución

Inicialmente se ha previsto realizar la excavación en tres fases: avance, destroza y excavación de la contrabóveda en caso de que sea necesario, aunque no se contemple en este proyecto. La altura total del túnel será de 8,4m, quedando una altura de 6m en la sección de avance y 2,4m en la destroza.

Las fases de excavación serán las siguientes:

- Avance: La sección de excavación de esta fase tiene una altura aproximada de clave de 6m, suficiente para la correcta movilidad de la maquinaria necesaria.
- Destroza: Es la mitad inferior del túnel. Esta fase se comenzará a excavar cuando se haya calado el túnel en sección de avance. La excavación de la destroza se podrá subdividir en bataches.



- Contabóveda: Se excavará bajo la destroza en zonas de mala calidad geotécnica, constituyendo la tercera fase de excavación. En este proyecto no se contempla la ejecución de esta fase.

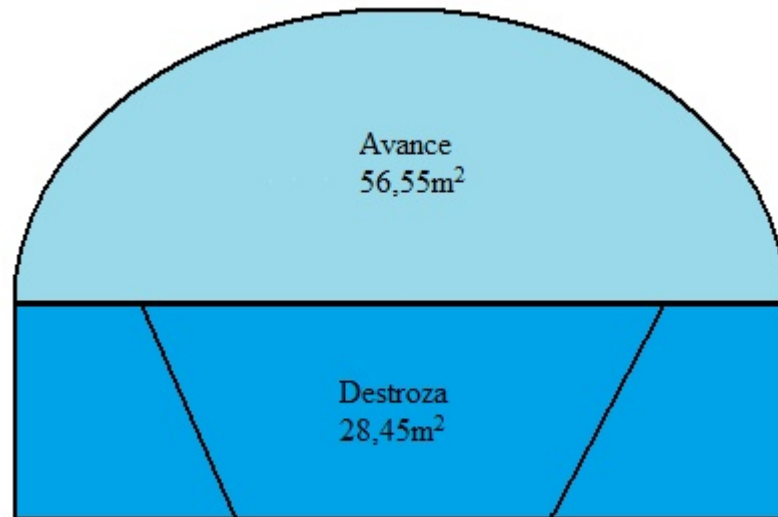


Figura 7. Sección del túnel

7.3. Sistemas de excavación

La excavación de este túnel se realizara mediante medios mecánicos en los casos en que la roca presente una mala calidad, y mediante perforación y voladura cuando el macizo presente una buena calidad.

La perforación se realizará con un jumbo hidráulico en cada boca del túnel, cuyas características a tener en cuenta son:

- Marca: Atlas Copco
- Modelo: Boomer E3 C
- Potencia eléctrica instalada: 158kW.



- Potencia diesel instalada: 137kW
- Tipo de brazo: Hidráulico BUT 45L
- Tipo de deslizadera: BMH 6920
- Tipo de martillos: COP 3038

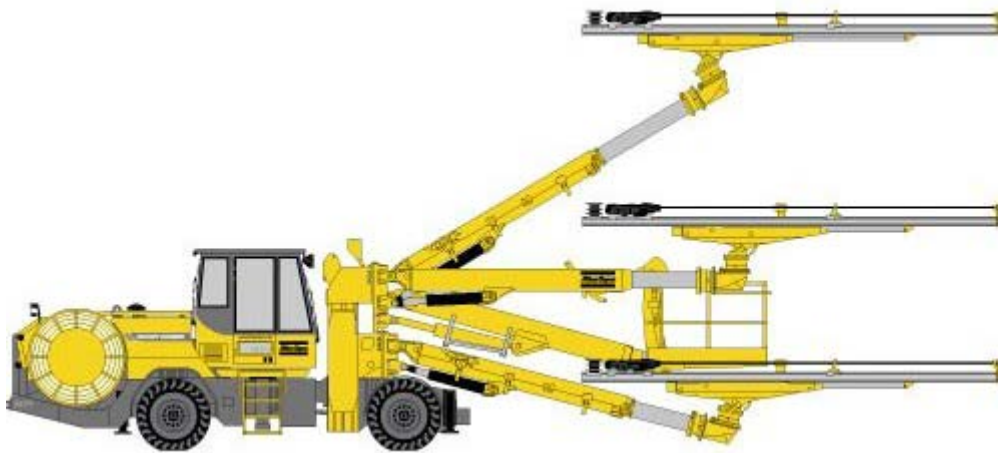


Figura 8. Tipo de jumbo seleccionado

Tabla 2. Características geotécnicas

UNIDAD	RMR	RCS (MPa)
Complejo esquistoso-grauváquico	48	28,6
Cuarcitas, pizarras y areniscas	52	22,07
Cuarcita Armoricana	54	134,2
Pizarras con intercalación cuarcitas	44	134,2
Conglomerados	50	47,2
Fallas	25	30



7.4. Excavación mediante perforación y voladura

Teniendo en cuenta las características geotécnicas del macizo rocoso, se utilizará el método de perforación y voladura en los tramos en los que el RMR sea superior a 30. Para simplificar los cálculos, y teniendo en cuenta que el tramo de falla no supone ni el 1% de la excavación, supondremos una realización completa del túnel mediante este método.

7.4.1. Volumen de excavación

Con una longitud total del túnel de 3.320m, y una sección de excavación de 85m², el volumen total de la excavación será de 282.200m³.

7.4.2. Longitud de pase

Teniendo en cuenta que los valores del RMR oscilan entre 44 y 54, podemos emplear una longitud de pase de 3,4 metros en el avance, pudiendo variarla en función de las características del terreno.

Con la longitud de pase prevista y estimando un rendimiento del 90%, el avance real será de:

- Longitud de pase teórica: 3,4m
- Longitud de pase real: $3,4\text{m} \times 0,9 = 3\text{m}$

7.4.3. Número de voladuras

A efectos de cálculo, y suponiendo que se realiza toda la obra mediante perforación y voladura, el número de voladuras a efectuar serán 1.332 aproximadamente.



8. Saneamiento y desescombro

Para el saneamiento del frente de avance se empleara una excavadora tipo CAT 323D L.

Y para el desescombro, dado que el volumen de material a extraer será de 305.575m^3 , se utilizará una cargadora de ruedas tipo CAT 980M, con una capacidad de cazo de $4,2\text{m}^3$ a 12m^3 , y dos camiones tipo CAT 771D, con una capacidad máxima de carga de $27,5\text{m}^3$.

El escombros extraído será depositado en un vertedero que no está recogido en este proyecto.



Figura 9. Pala CAT 980M y camión CAT 771D

9. Sostenimiento y revestimiento

9.1. Sostenimiento

El estudio y diseño del sostenimiento de excavaciones subterráneas está regulado en el ordenamiento jurídico español por la **I.T.C. 04.06.05.: Labores Subterráneas: Sostenimiento de Obras**, del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Se debe emplear un sostenimiento y revestimiento para aquellas zonas en las que no exista riesgo o sea muy bajo en cuanto a las posibles infiltraciones de agua freática, y otro sostenimiento y revestimiento para aquellos tramos que presenten cierto riesgo de acometidas de agua o presencia de la misma agresiva para el hormigón, aunque sea poca cantidad a efectos de construcción.

En función de las características de este tramo de terreno se ha optado por la utilización de bulones de expansión tipo SWELLEX y bulones AUTOPERFORANTES. También se contempla la utilización de bulones de acero corrugado anclados con resina o cemento.

En base al apartado 3.2. de la citada I.T.C., el tunel es una labor no asociada a una explotación minera, por lo que el diseño del sostenimiento debe tener en cuenta los siguientes factores:

- **Definición de la obra:**

Cada labor debe ser denominada con un nombre que la identifique correctamente.

La obra a realizar debe definirse geométricamente, especificando las dimensiones útiles de las distintas secciones que la componen y debe representarse topográficamente, en planta y alzado.

Asimismo, debe especificarse su utilización prevista indicando las condiciones que deba reunir.

También debe tenerse en cuenta la existencia de obras, subterráneas o superficiales, próximas a la proyectada, al igual que las labores de explotación que pudieran afectarla durante su construcción o utilización posterior.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- **Características del terreno.**

El terreno que, como mínimo, debe ser caracterizado geomecánicamente, ha de estar comprendido en un paralelepípedo cuyo eje es el de la excavación prevista, y su sección debe tener una anchura y altura seis veces mayores que las de la excavación proyectada.

Deben estudiarse los litotipos y las discontinuidades estructurales, definiendo sus características geotécnicas, las obras o labores próximas y la posible presencia de agua en el terreno circundante.

Como resultado de la caracterización del terreno, debe definirse un perfil geotécnico en el que se contemplen, a lo largo de toda la excavación, los tramos de terreno que tengan características homogéneas, especificando sus características geotécnicas.

- **Diseño del sostenimiento.**

El diseño del sostenimiento debe realizarse teniendo en cuenta las características del terreno, las dimensiones de la obra, las condiciones impuestas por la utilización de la obra y las posibles influencias de excavaciones próximas. Debe distinguirse entre el sostenimiento o revestimiento, cuando éste sea necesario. El sostenimiento debe ser capaz de controlar y mantener la estabilidad de la excavación, así como de las labores e instalaciones próximas durante todas las etapas constructivas a lo largo de la utilización de la obra, si no se prevé colocar un revestimiento.

Como resultado de los trabajos de diseño han de definirse los elementos estructurales de sostenimiento, en calidad y cantidad, así como el proceso de colocación en cada sección diferenciada de la obra.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Debe trazarse un perfil constructivo por tramos, a lo largo de toda la obra, definiendo las zonas en las que debe aplicarse cada tipo de sostenimiento y las secciones de excavación que resulten al tener en cuenta el efecto de la convergencia, para que la sección final sea la requerida según los gálibos del proyecto.

- **Método constructivo.**

Deben especificarse todas las fases que componen el ciclo de avance, estableciendo la maquinaria y procedimientos previstos en cada una de ellas, así como las condiciones de su utilización y las exigencias a respetar en la colocación del sostenimiento, tanto por lo que se refiere a la metodología de colocación de los elementos de sostenimiento, como a las distancias máximas a que puede colocarse cada elemento de sostenimiento del frente.

- **Medidas de control a instalar.**

En el proyecto debe incluirse un plan de control que permita conocer razonablemente el comportamiento del sostenimiento y los desplazamientos del terreno circundante, tanto en las distintas fases constructivas como en las de utilización.

En el apartado 4.2.7. de la referida I.T.C. se especifica el nivel del proyecto. El nivel del proyecto se debe corresponder con el comportamiento previsible del terreno y con el tiempo de utilización de la obra. Para cumplir estos objetivos se establecen dos parámetros de clasificación: el tiempo de utilización de la obra y el cociente σ_c/h , siendo:

- σ_c : resistencia a compresión simple del litotipo más representativo de la excavación, expresado en MPa.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- h: profundidad media de la excavación respecto a la superficie exterior, expresada en metros.

Los proyectos se clasifican en cuatro niveles, de acuerdo con las características especificadas en la tabla 3:

Tabla 3. Nivel de proyecto

CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE PROYECTO		
RELACIÓN σ_c/h (MPa/m)	TIEMPO DE DURACIÓN DE LA OBRA	
	Menor de 15 años	Mayor de 15 años
>0,1	A	B
0,1 – 0,05	B	C
<0,05	C	D

Para calcular el nivel del proyecto se tiene en cuenta la resistencia a compresión simple de la roca (σ_c), el espesor de los terrenos de recubrimiento (h) y el tiempo útil de la obra.

En nuestro caso, podría considerarse como litotipo predominante el complejo esquisto-grauváquico, con una resistencia a compresión simple de 28,6Mpa, y como el espesor de los terrenos de recubrimiento varía entre los 50m y los 230m, tomaremos como dato para el cálculo el espesor máximo de recubrimiento, 230m, y un tiempo de duración de la obra superior a 15 años.

$$\frac{\sigma}{h} = \frac{26,8}{230} = 0,12 > 0,1 \rightarrow \text{Proyecto de sostenimiento tipo B}$$



En este caso el sostenimiento puede diseñarse a partir de experiencias similares o en base a clasificaciones geomecánicas acreditadas, admitiéndose la asimilación de excavación a un círculo para facilitar los cálculos de estabilidad.

9.2. Revestimiento

De acuerdo con el método de construcción previsto, el cual implica que el propio macizo y el sostenimiento deben ser suficientes para proporcionar estabilidad a la cavidad, se proyecta construir un revestimiento continuo con hormigón encofrado con carácter definitivo. La misión estructural de este revestimiento es incrementar la seguridad alcanzada mediante el sostenimiento frente al colapso de la excavación y mejorar las condiciones de servicio de los túneles (aerodinámica, ventilación, fijación de servicios, etc.).

El túnel debe estar equipado con instalaciones técnicas ferroviarias, por lo que el objetivo deseable es conseguir una superficie de hormigón lisa y plana. Las resistencias al avance de los trenes de alta velocidad son mayores en superficies rugosas y desiguales. Consecuentemente, no se recomienda el revestimiento simple de hormigón proyectado para túneles de alta velocidad.

Por lo tanto, en el avance convencional se debe de implementar un revestimiento doble de hormigón proyectado. La solución propuesta es la de un revestimiento doble hormigón proyectado de entre 15 y 20 cm de espesor, que en caso de la degradación parcial o total de las propiedades estructurales del sostenimiento, pueda ejercer la función del mismo.

La ejecución del anillo de revestimiento se llevará a cabo empleando un carro de encofrado.



10. Seguimiento y auscultación

La ejecución del túnel necesita un sistema de control de determinados parámetros definidos, a realizar por medio de unos equipos de auscultación de manera que se disponga en todo momento de un conocimiento suficiente del modo en que terreno, estructuras e instalaciones responden a las operaciones que se están realizando.

El objetivo es verificar la estabilidad de la obra mediante la instrumentación para la medida de deformaciones y presiones sobre el sostenimiento. El proceso metodológico a seguir para el diseño y correcto funcionamiento de un sistema de auscultación durante la construcción de un túnel sigue el siguiente esquema:

- Predicción del comportamiento de la excavación.
- Elección de las magnitudes que se van a controlar.
- Definición de los equipos adecuados para dichas mediciones.
- Planificación del registro: plantillas, frecuencias y método de recogida.
- Comparación de los datos con el comportamiento previsto.
- Modificaciones de la propuesta inicial, si fuera necesario.
- Propuesta de soluciones, en caso de modificación.

Algunas de las magnitudes cuyas medidas pueden ser de interés son las siguientes:

- Movimientos en la superficie del terreno.
- Movimientos en el interior del túnel.
- Movimiento entre puntos superficiales próximos.
- Control de presiones totales en sostenimientos y revestimientos.
- Control de presiones sobre anclajes y cerchas.



Los resultados de las mediciones, interpretados correctamente, deben permitir conocer la seguridad de la obra, posibles afecciones y contrastar la realidad con las hipótesis del proyecto.

El sistema de auscultación debe incluir una organización que realice una interpretación clara de los datos recibidos y que transmita las conclusiones a los centros de decisión de forma rápida.

10.1. Instrumentos de auscultación

Para controlar la convergencia del túnel se ha previsto la utilización de diversos elementos que se colocarán tanto en el interior de túnel como en la superficie, que se situarán en las zonas de afección de los emboquilles.

- Instrumentos de interior:
 - Células de presión total, usándose para obtener tensiones tanto verticales como horizontales.
 - Extensómetros de cuerda vibrante, para medir deformaciones en el hormigón o en cualquier otro material.
 - Pernos de convergencia, para la colocación de los extensómetros.
- Instrumentos de exterior:
 - Piezómetros cerrados y abiertos, para detectar, medir y monitorear la presión de agua.
 - Extensómetros de varillas, para controlar los movimientos en profundidad.
 - Hitos de nivelación topográfica para el control de los asentamientos o movimientos verticales.

- Sondeo inclinométrico, para medir los desplazamientos horizontales del terreno.
- Regletas de nivelación.

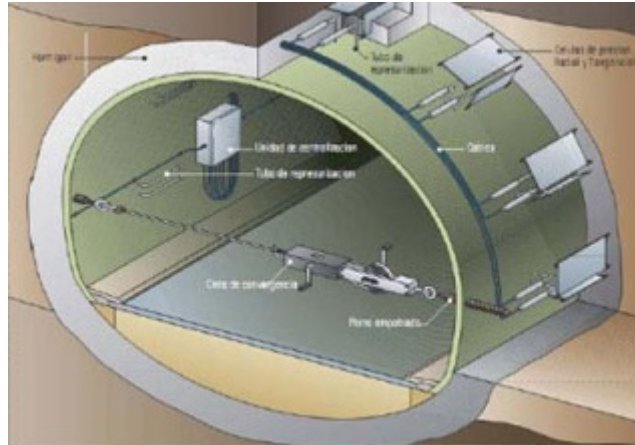


Figura 10. Esquema de la colocación de instrumentos de auscultación de interior

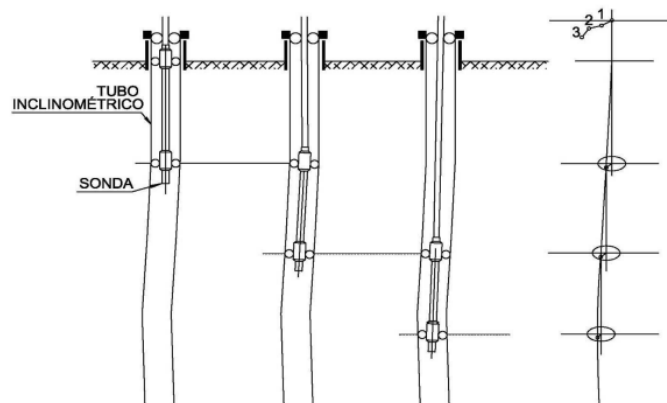


Figura 11. Esquema de funcionamiento de un inclinómetro

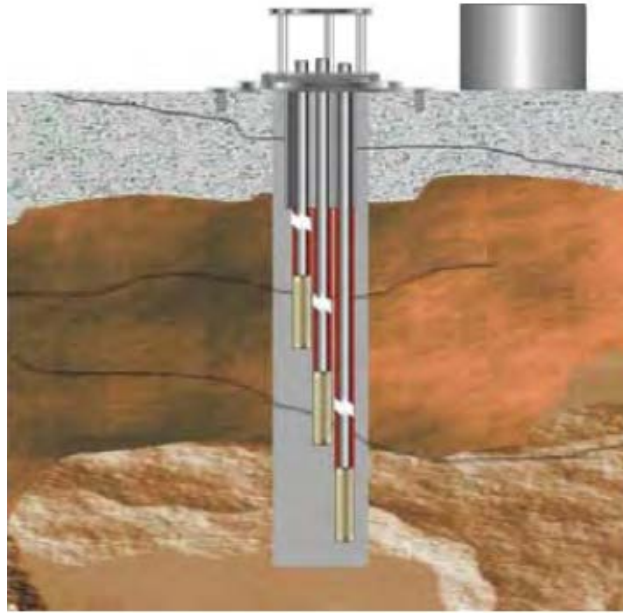


Figura 12. Extensómetro de varillas

11. Ventilación

Todas las labores subterráneas accesibles deben estar recorridas por una corriente regular de aire, suficiente y en armonía con las condiciones del trabajo. El aire exterior introducido estará exento de gases, vapores y polvos nocivos o peligrosos.

Siempre que sea posible, la dirección de la corriente de ventilación será tal que en caso de parada de los ventiladores generales la corriente natural conserve el mismo sentido, evitando la inversión.

Este apartado tiene como objetivo el cálculo del caudal de aire requerido para satisfacer estas necesidades durante la construcción del túnel, que se desarrollará en el anexo III.

Estos cálculos determinarán la cantidad de aire necesaria para la respiración de las personas, los equipos y para el control de la concentración de los gases nocivos por



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



debajo de los límites exigidos por el Reglamento general de normas básicas de seguridad minera, desarrollado por la I.T.C. 04.7.02. Concentraciones límites de gases. Temperatura, humedad y clima.

En la tabla 4, se muestran las concentraciones máximas admitidas en el aire en función del periodo de tiempo de actividad.

Tabla 4. Concentración límite de gases

CONCENTRACIÓN DE GASES NOCIVOS		
GASES	CONCENTRACIÓN (ppm)	
	Jornadas de 8 horas	Periodos cortos
Monóxido de carbono (CO)	50	100
Dióxido de carbono (CO ₂)	5.000	12.500
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	10	25
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	10	50
Dióxido de azufre (SO ₂)	5	10
Hidrógeno (H ₂)	1.000	10.000

Las labores en que se alcancen concentraciones superiores a estos valores serán desalojadas de forma inmediata, adoptándose por la Dirección Facultativa las medidas pertinentes para disminuir dichas concentraciones. En ninguna labor en actividad la proporción de oxígeno será inferior al 19% en volumen. En caso necesario se realizará la corrección pertinente por altitud.



12. Instalaciones auxiliares

12.1. Aire comprimido

En el anexo IV se desarrollan los cálculos relativos a las necesidades de aire comprimido para las operaciones de perforación, gunitado y funcionamiento de maquinaria auxiliar. Este será suministrado mediante un compresor y una red de aire.

12.2. Desagüe

La presencia de agua en el túnel tiene una gran importancia ya que puede afectar de manera importante a las características geomecánicas del terreno y complicar la ejecución del proyecto.

Se instalará un sistema de desagüe en cada boca de avance teniendo en cuenta los datos hidrológicos y climatológicos de la zona. Las aguas bombeadas serán tratadas en una balsa de decantación antes de su incorporación a cauces públicos.

En caso de filtraciones se colocarán unos plásticos que eviten que se humedezca el suelo y dificulte el tránsito de maquinaria y personal, y conduzcan el agua a las cunetas laterales.



13. Planificación

ACTIVIDAD	MESES																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Implantación	■	■	■														
Excavación y sostenimiento				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Falso túnel												■	■	■			
Impermeabilización y revestimiento															■	■	■
Drenajes y acabados																	
Desinstalación																	

ACTIVIDAD	MESES															
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Implantación																
Excavación y sostenimiento	■	■	■	■	■											
Falso túnel																
Impermeabilización y revestimiento	■	■	■	■	■	■	■									
Drenajes y acabados								■	■	■	■	■	■	■		
Desinstalación															■	■

ANEXOS

A LA

MEMORIA



ÍNDICE DE ANEXOS A LA MEMORIA

Anexo I: Cálculos de las voladuras	III
Anexo II: Cálculos del sostenimiento.....	XVI
Anexo III: Cálculos de la ventilación.....	XXV
Anexo IV: Cálculos de las instalaciones auxiliares.....	XXXII



ANEXO I: CÁLCULOS DE LAS VOLADURAS

1. Diseño de la voladura

Ya que la sección de nuestro túnel es superior a 30m^2 , utilizaremos un diámetro de perforación para los barrenos cargados de 51mm y para los vacíos de 76mm. Se empleará un cuele quemado, donde el barreno central cargado dispara contra cuatro barrenos vacíos.

La longitud de perforación que utilizaremos en los cálculos será de 3m, teniendo ya en cuenta un rendimiento del 90%, la sección en avance es de $56,55\text{m}^2$ y la de la destroza de $28,45\text{m}^2$.

1.1. Cálculo del cuele

El cuele a realizar para el avance constará de tres secciones, las cuales se detallan a continuación.

1.1.1. Primera sección

El cálculo de la piedra (B_1) entre el barreno central y los que le rodean, viene dado por la expresión $B_1 = n \times 0,7 \times D$, donde “D” es el diámetro de los barrenos vacíos en metros y “n” la cantidad de barrenos vacíos.

$$B_1 = 4 \times 0,7 \times 0,076$$

$$B_1 = 0,213\text{m}$$



La distancia entre los centros de los barrenos (D_{ejes}) será $D_{\text{ejes}} = B_1 + d/2 + D/2$

$$D_{\text{ejes}} = 0,213 + \left(\frac{0,051}{2}\right) + \left(\frac{0,076}{2}\right)$$

$$D_{\text{ejes}} = 0,277\text{m}$$

Siendo “d” el diámetro de los barrenos cargados, y “D” el diámetro del barreno vacío.

Llamaremos a_1 , a la distancia entre los centros de los barrenos vacíos, y la calcularemos mediante la expresión $(a_1)^2 = (D_{\text{ejes}})^2 + (D_{\text{ejes}})^2$

$$(a_1)^2 = (0,277)^2 + (0,277)^2$$

$$a_1 = 0,392\text{m}$$

Por lo tanto, el hueco S_1 que genera al disparar el cuele será $S_1 = (a_1)^2$.

$$S_1 = 0,392^2$$

$$S_1 = 0,153\text{m}^2$$

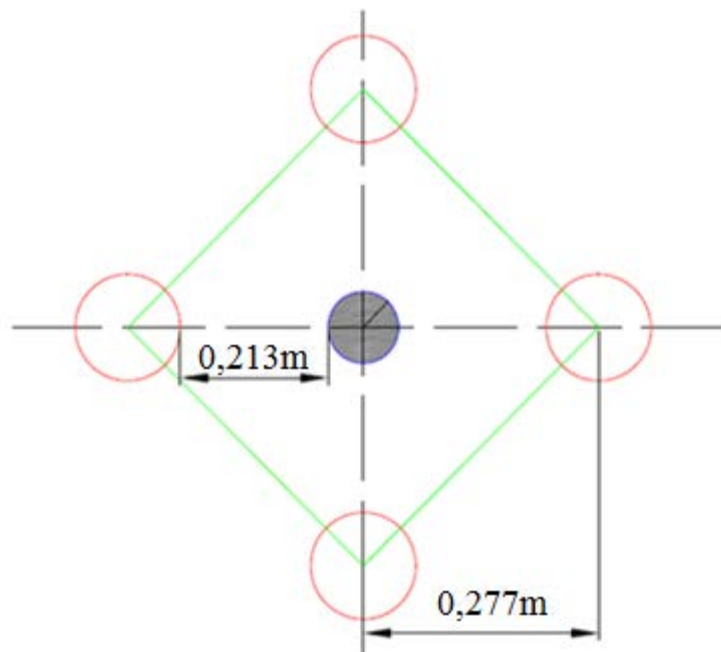


Figura 13. Detalle de la primera sección



1.1.2. Segunda sección

Está formada por cuatro barrenos cargados situados en los vértices del hueco abierto por la primera sección.

La piedra (B_2) de los barrenos de la segunda sección viene dada por la expresión $B_2 = 0,7 \times a_1$.

$$B_2 = 0,7 \times 0,392$$

$$\mathbf{B_2 = 0,274m}$$

La distancia (D_{ejes2}) entre el centro del barreno cargado y el centro de la primera sección se calculará con $D_{ejes2} = B_2 + a_1/2 + d/2$.

$$D_{ejes2} = 0,274 + \frac{0,392}{2} + \frac{0,051}{2}$$

$$\mathbf{D_{ejes2} = 0,496m}$$

Por lo tanto la anchura del hueco creado en la segunda sección será $(a_2)^2 = (D_{ejes2})^2 + (D_{ejes2})^2$

$$(a_2)^2 = (0,496)^2 + (0,496)^2$$

$$\mathbf{a_2 = 0,701m}$$

El hueco abierto por la segunda sección es $S_2 = (a_2)^2$.

$$S_2 = 0,701^2$$

$$\mathbf{S_2 = 0,491m^2}$$

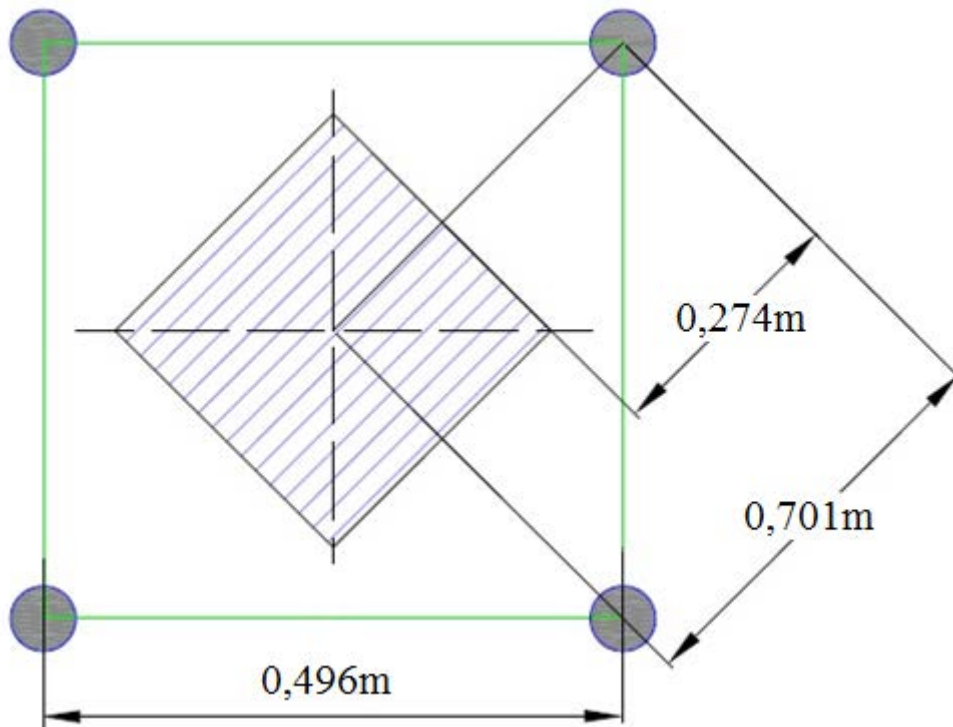


Figura 14. Detalle de la segunda sección

1.1.3. Tercera sección

La última sección del cuele está constituida por ocho barrenos cargados, situado en tres filas (3 + 2 + 3) alrededor del hueco abierto por la segunda sección. Al ser mayor el hueco inicial se puede aumentar la piedra (B_3) de esta sección, para mejorar los resultados, calculándose la misma mediante la expresión $B_3 = 1,15 \times a_2$.

$$B_3 = 1,15 \times 0,701$$

$$B_3 = 0,806\text{m}$$

La distancia (D_{ejes_3}) entre centros de barreno de la tercera sección será: $D_{\text{ejes}_3} = B_3 + a_2/2 + d/2$

$$D_{\text{ejes}_3} = 0,806 + \frac{0,701}{2} + \frac{0,051}{2}$$



$$D_{\text{ejes}_3} = 1,182\text{m}$$

La anchura (a_3) del hueco abierto en la tercera sección será $a_3 = 2 \times D_{\text{ejes}_3}$.

$$a_3 = 2 \times 1,182$$

$$a_3 = 2,364\text{m}$$

El hueco total abierto por la tercera sección (S_3) y por lo tanto el hueco final que abre el cuele será $S_3 = (a_3)^2$.

$$S_3 = 2,364^2$$

$$S_3 = 5,588\text{m}^2$$

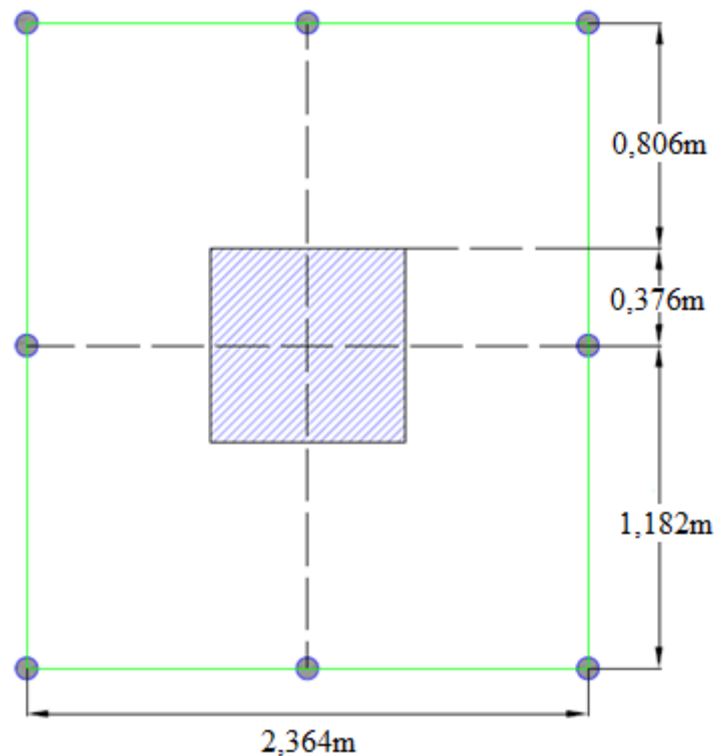


Figura 15. Detalle de la tercera sección.



1.2. Cálculo del contorno

Calculamos el espaciamiento (S_C) y la piedra (B_C) del contorno mediante las siguientes expresiones:

$$S_C = k \times \varnothing_{\text{perf}}$$

El valor de "k" varía en función del RMR o la resistencia a compresión simple. Para este caso se empleará un valor de $k=15$.

$$S_C = 15 \times 0,051$$

$$S_C = \mathbf{0,765m}$$

$$B_C = S_C/0,8$$

$$B_C = 0,765/0,8$$

$$B_C = \mathbf{0,956m}$$

1.3. Cálculo de la zapatera

Para el cálculo de los parámetros de la zapatera, se utilizan las siguientes expresiones para la piedra (B_Z) y el espaciamiento (S_Z):

$$B_Z \leq \frac{(\text{Longitud del barreno}) - 0,4}{2}$$

$$B_Z \leq \frac{3 - 0,4}{2}$$

$$B_Z \leq \mathbf{1,3m}$$

Al no ser una roca muy dura, podemos emplear esta piedra como máximo.



$$S_z = 1 \text{ o } 1,1 \times B_z$$

$$S_z = 1 \text{ o } 1,1 \times 1,3$$

$$S_z = 1,3\text{m o } 1,43\text{m (lo que más se ajuste)}$$

1.4. Cálculo de la destroza

Para el cálculo de la piedra (B_D) y el espaciamiento (S_D) de los barrenos de la destroza utilizaremos las mismas expresiones que para la zapatera, pero ajustándolo a las medidas que disponemos.

$$B_D = \frac{(\text{Longitud del barreno}) - 0,4}{2}$$

$$B_D = \frac{3 - 0,4}{2}$$

$$B_D = 1,3\text{m}$$

$$S_D = 1 \times B_D$$

$$S_D = 1 \times 1,3$$

$$S_D = 1,3\text{m}$$

1.5. Malla de la voladura

1.5.1. Contorno

$$\text{Longitud del contorno} = (\pi \times r) + (2 \times h)$$

$$\text{Longitud del contorno} = (\pi \times 6) + (2 \times 5,3) = 29,45\text{m}$$

$$\text{Nº barrenos} = \frac{\text{Longitud contorno}}{S_C}$$



$$N^{\circ} \text{ barrenos} = \frac{29,4}{0,765} = 38,5 \cong 39 \text{ huecos} \rightarrow 38 \text{ barrenos}$$

1.5.2. Zapatera

$$N^{\circ} \text{ barrenos} = \frac{\text{Longitud zapatera}}{S_z}$$

$$N^{\circ} \text{ barrenos} = \frac{12}{1,3} = 9,23 \text{ huecos} \approx 9 \text{ huecos} \rightarrow 10 \text{ barrenos}$$

Se añadirá una fila con 9 barrenos encima de línea inferior de la destroza, lo que supone un total de 19 barrenos en la zapatera.

1.5.3. Destroza

Se calcula la longitud de los arcos de la destroza y el número de barrenos a realizar en cada una de ellas: $L = (\pi \times r) + (2 \times h)$ y $N^{\circ} \text{ barrenos} = L/S_D$

$$L_1 = (\pi \times (6 - 0,96)) + (2 \times 0,97)$$

$$L_1 = 17,77\text{m}$$

$$N^{\circ} \text{ barrenos} = \frac{17,77}{1,3}$$

$$N^{\circ} \text{ barrenos} = 16,47 \text{ huecos} \rightarrow 15 \text{ barrenos}$$

$$L_2 = (\pi \times (6 - 0,96 - 1)) + (2 \times 0,97)$$

$$L_2 = 14,63\text{m}$$

$$N^{\circ} \text{ barrenos} = \frac{14,63}{1,3}$$

$$N^{\circ} \text{ barrenos} = 11,25 \text{ huecos} \rightarrow 10 \text{ barrenos}$$

$$L_3 = (\pi \times (6 - 0,96 - 2)) + (2 \times 0,97)$$



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



$$L_3 = 11,49\text{m}$$

$$\text{N}^\circ \text{barrenos} = \frac{11,49}{1,3}$$

$$\text{N}^\circ \text{barrenos} = 8,83 \text{ huecos} \rightarrow 9 \text{ huecos} \rightarrow 8 \text{ barrenos}$$

$$L_4 = (\pi \times (6 - 0,96 - 3)) + (2 \times 0,97)$$

$$L_4 = 8,35\text{m}$$

$$\text{N}^\circ \text{barrenos} = \frac{8,35}{1,3}$$

$$\text{N}^\circ \text{barrenos} = 6,42 \text{ huecos} \rightarrow 5 \text{ barrenos}$$

$$L_5 = (\pi \times (6 - 0,96 - 4)) + (2 \times 0,97)$$

$$L_5 = 5,21\text{m}$$

$$\text{N}^\circ \text{barrenos} = \frac{5,21}{1,3}$$

$$\text{N}^\circ \text{barrenos} = 4 \text{ huecos} \rightarrow 3 \text{ barrenos}$$



2. Carga de la voladura

Para el cálculo de la carga de la voladura se emplean las siguientes expresiones para las diferentes zonas:

$$R = 0,5m$$

$$L_{CF} = \frac{1}{3} \times L_B \rightarrow L_{CF} = \frac{1}{3} \times 3 = 1m,$$

pero para que coincida con la longitud de los cartuchos la reduciremos a 0,8m.

$$L_{CC} = L_B - (L_{CF} + R) \rightarrow L_{CC} = 3 - (0,8 + 0,5) = 1,7m$$

Por lo tanto queda una longitud de retacado de 0,5m, una longitud de carga de fondo de 1m y una longitud para la carga de columna de 1,5m.

Como carga de fondo se empleará RIODÍN (40x400)mm de 714gr y como carga de columna se utilizará NAGOLITA a granel.

Para calcular la carga de los barrenos se emplean las siguientes expresiones:

$$\left. \begin{aligned} N^{\circ} \text{ cartuchos} &= L_{CF}/L_{\text{cartucho}} \\ \text{kg}_{\text{explosivo}} &= N^{\circ} \text{ cartucho} \times P_{\text{cartucho}} \end{aligned} \right\} \text{Carga de fondo} - Q_F$$

$$\left. \begin{aligned} q_{lk} &= 7,854 \cdot 10^{-3} \times \rho \times D^2 \\ \text{kg}_{\text{explosivo}} &= q_{lk} \times m_{cc} \end{aligned} \right\} \text{Carga de columna} - Q_C$$

$$Q_T = Q_F + Q_C$$

$$Q_E = \frac{\text{kg totales}}{m^3 \text{ roca}}$$

Q_0 = kg de explosivo con el mismo número de detonador



2.1. Cuele

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{1}{0,4} = 2 \text{ cartuchos}$$

$$Q_F = 2 \times 714 = 1,43 \text{ kg}$$

$$q_{lk} = 7,854 \cdot 10^{-3} \times 0,8 \times 51^2$$

$$q_{lk} = 1,63 \text{ kg/m}$$

$$Q_C = 1,63 \times 1,7 = 2,77 \text{ kg}$$

$$Q_T = Q_F + Q_C$$

$$Q_T = 1,43 + 2,77 = 4,20 \text{ kg totales}$$

$$4,20 \text{ kg} \times 13 \text{ barrenos} = 54,6 \text{ kg totales cuele}$$

2.2. Zapatera

Se utilizará la misma carga por barreno, teniendo en cuenta el número de barrenos.

$$4,20 \text{ kg} \times 19 \text{ barrenos} = 79,80 \text{ kg totales zapatera}$$

2.3. Destroza

$$4,20 \text{ kg} \times 41 \text{ barrenos} = 172,20 \text{ kg totales destroza}$$



2.4. Contorno

Para la carga de los barrenos del contorno se utilizará cordón detonante de 100g/m y cartuchos de RIODIN en el fondo, ya que lo que se pretende es obtener una sección lo más homogénea posible.

$$q_{lk} = 90 \times D^2$$

$$q_{lk} = 90 \times 0,051^2$$

$$q_{lk} = 0,23\text{kg/m}$$

$$0,23 \times 3 = 0,69\text{kg}$$

Ponemos cordón detonante de 100g/m.

$$100 \times 3 = 300\text{g} = 0,3\text{kg}$$

$$0,69 - 0,3 = 0,39\text{kg nos faltan por cargar}$$

Metemos en el fondo un cartucho de 417gr.

$$Q_T = 0,3 + 0,42 = 0,72\text{kg por barreno}$$

$$\mathbf{0,72 \times 38 = 27,36\text{kg totales contorno}}$$



2.5. Resumen

En la tabla 5 se muestra el consumo previsto para cada una de las voladuras:

Tabla 5. Consumo de explosivo

Elemento	Unidad	Cantidad por voladura	Nº de voladuras	Total
Riodín	kg	104,39	1332	139.047,48kg
Nagolita	kg	306,6	1332	408.391,20kg
Detonadores	Unidad	102	1332	135864ud
Cordón detonante	m	114	1332	151848m

3. Carga específica

El consumo total de explosivo es de 547.438,68kg, y el volumen de roca a extraer es de 305.575m³, por lo que el consumo específico será:

$$Q_E = \frac{\text{kg}_{\text{explosivo}}}{\text{m}^3_{\text{roca}}}$$

$$Q_E = \frac{547.438,68\text{kg}}{305.575\text{m}^3} = 1,79\text{kg/m}^3$$

4. Secuencia de encendido

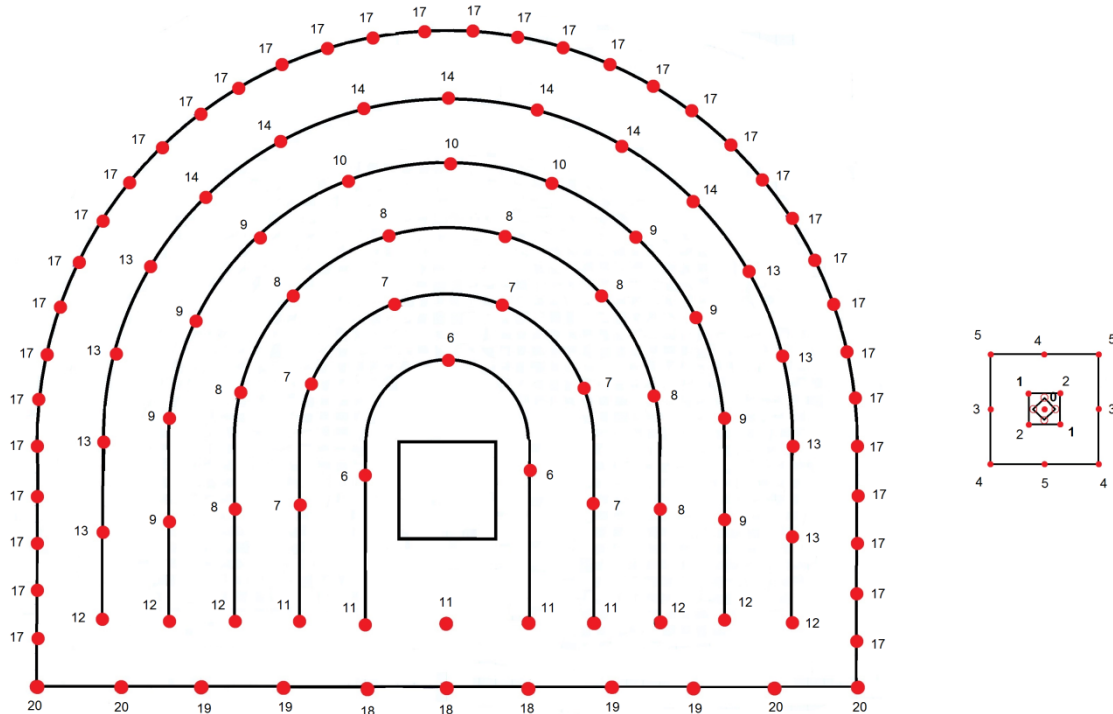


Figura 16. Secuencia de encendido

Para el encendido de las voladuras se emplearán detonadores eléctricos de retardo, con una diferencia de 120ms entre el último de la destroza y el primero del contorno.



ANEXO II: CÁLCULOS DEL SOSTENIMIENTO

Para realizar una aproximación del sostenimiento que será necesario emplear en la excavación, se emplean métodos empíricos como son las recomendaciones de Bieniawski y el ábaco de Barton.

1. Sostenimiento según Bieniawski

En función de la clase de roca, Bieniawski hace unas propuestas sobre el sostenimiento y la secuencia de excavación cuando se emplea perforación y voladura.

En la tabla 6, se recogen las recomendaciones de este autor.

Tabla 6. Recomendaciones de Bieniawski

RMR	EXCAVACIÓN	BULONADO	GUNITADO	CERCHAS
> 81	Sección completa Avances de 3m	Algún bulón ocasional	Innecesario	No
61-80	Sección completa Avances de 1-1,5m	Bulonado local en bóveda L=2-3m, S=2-2,5m	5cm en bóveda Eventualmente mallazo	No
41-60	Avance y destroza Avances de 1,5-3m	Bulonado sistemático L=3-4m. S=1,5-2m	5-10cm en bóveda, 3cm en hastiales. Mallazo en bóveda	No
21-40	Avance y destroza Avances de 1-1,5m	Bulonado sistemático L=4-5m, S=1-1,5m	10-15cm en bóveda, 10cm en hastiales. Mallazo sistemático	Ligeras s=1,5m
< 20	Fases múltiples Avances de 0,5-1m	Bulonado sistemático (incluso solera) L=5-6m, S=1-1,5m	15-20cm en bóveda, 15cm en hastiales y 5cm en frente. Mallazo sistemático	Pesadas, cerradas s=0,75m

2. Sostenimiento según Barton

A partir del índice de Bieniawski se puede obtener el Q de Barton para poder obtener el sostenimiento recomendado por Barton según su ábaco. En este caso el ESR=1, por lo que no es necesario realizar más correcciones para entrare en la tabla, y utilizaremos la Q y la anchura de la excavación (12m). Para calcular la Q se emplea la siguiente fórmula:

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

En función de los RMR presentes en nuestra excavación, realizaremos los cálculos de las seis zonas diferentes.

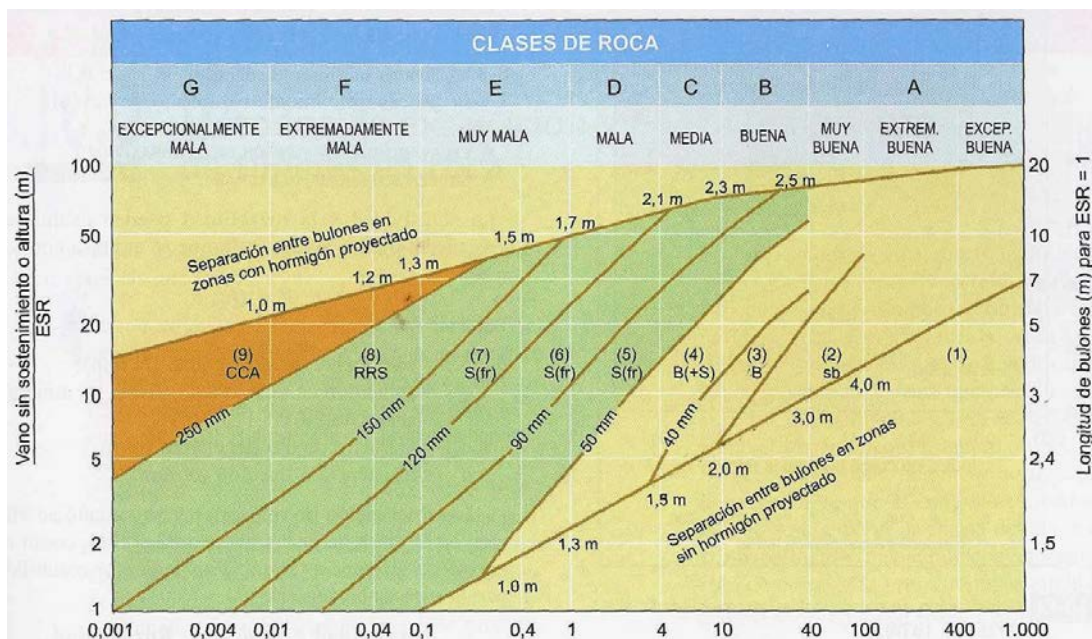


Figura 17. Ábaco de Grimstad y Barton

Cada una de las zonas del ábaco define el tipo de sostenimiento a aplicar:

1. Sin sostenimiento.
2. Bulonado puntual.
3. Bulonado puntual con hormigón proyectado.



4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado.
5. Bulonado sistemático y hormigón proyectado de 50 a 90 mm, con fibras.
6. Bulonado sistemático y hormigón proyectado de 90 a 120 mm, con fibras.
7. Bulonado sistemático y hormigón proyectado de 120 a 150 mm, con fibras.
8. Bulonado sistemático y hormigón proyectado de >150mm, con fibras y cerchas metálicas.
9. Revestimiento de hormigón.

2.1 Sostenimiento tipo I

$$Q = e^{\frac{48-44}{9}} = 1,56$$

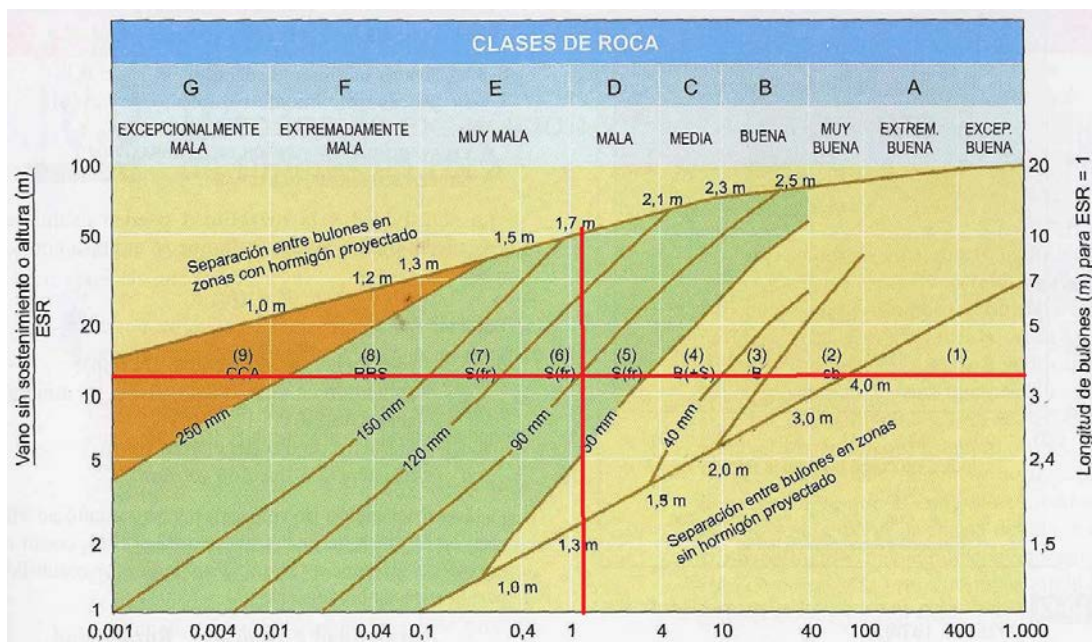


Figura 18. Sostenimiento tipo I

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en malla de 1,7m a 2,1m.
- Hormigón proyectado de 50 a 90 mm, con fibras.



Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que se encuentra el complejo esquistoso-grauvácico.

2.2 Sostenimiento tipo II

$$Q = e^{\frac{52-44}{9}} = 2,43$$

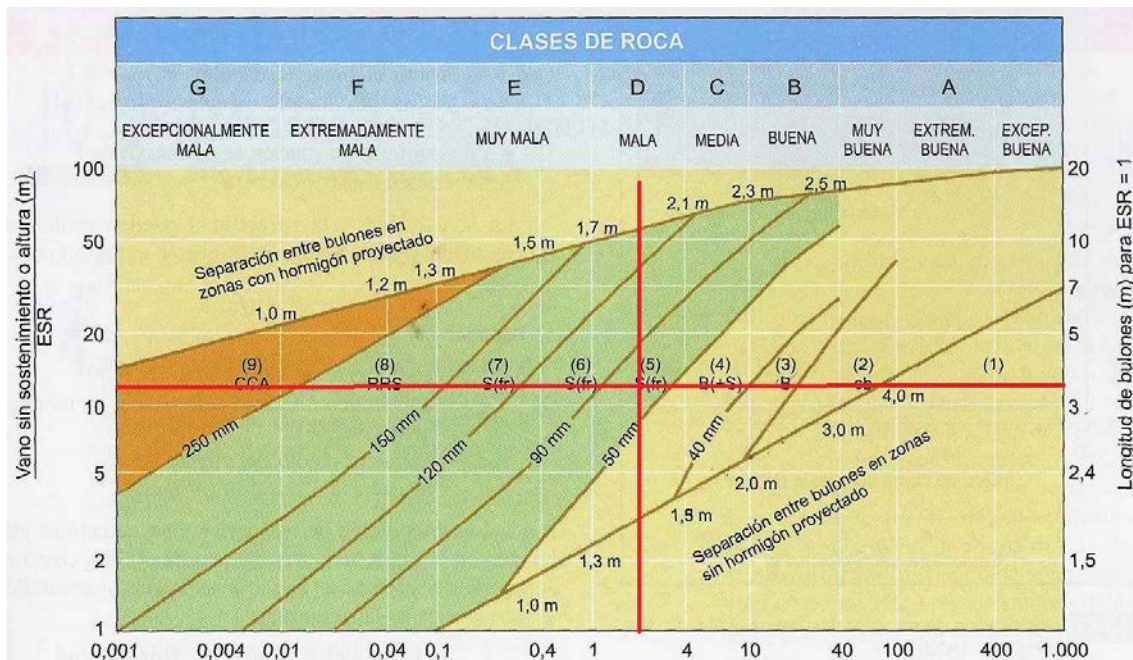


Figura 19. Sostenimiento tipo II

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,7 a 2,1m.
- Hormigón proyectado de 50 a 90 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes las cuarcitas, pizarras y areniscas.



2.3 Sostenimiento tipo III

$$Q = e^{\frac{54-44}{9}} = 3,04$$

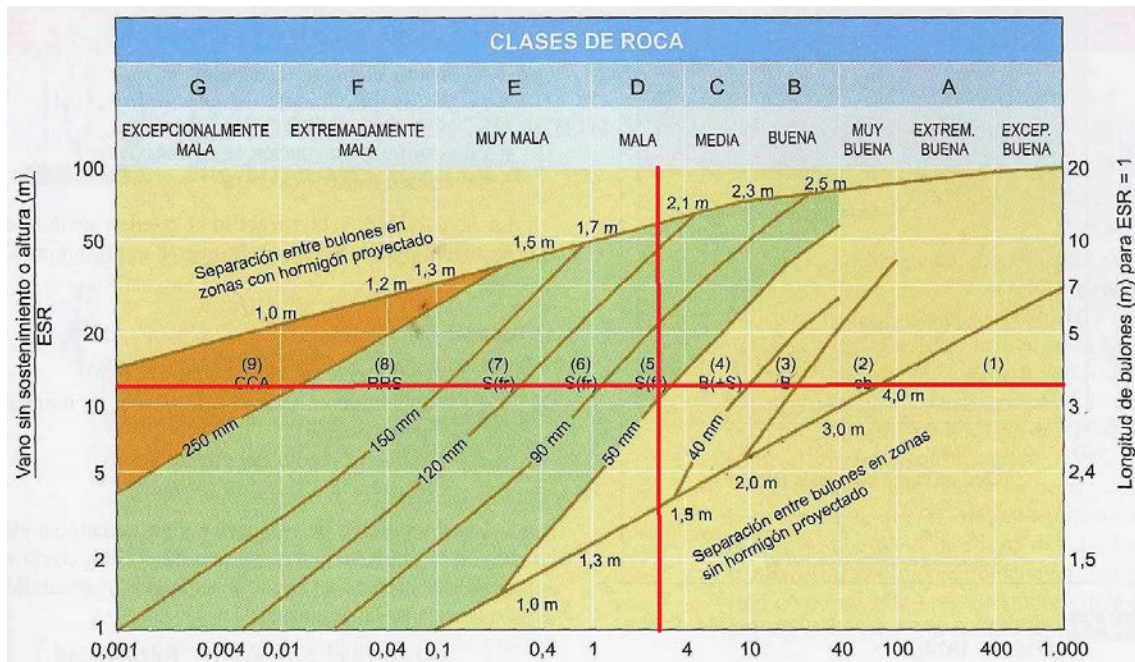


Figura 20. Sostenimiento tipo III

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,7 a 2,1m.
- Hormigón proyectado de 50 a 90 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes las cuarcitas armóricas.

2.4 Sostenimiento tipo IV

$$Q = e^{\frac{44-44}{9}} = 1$$

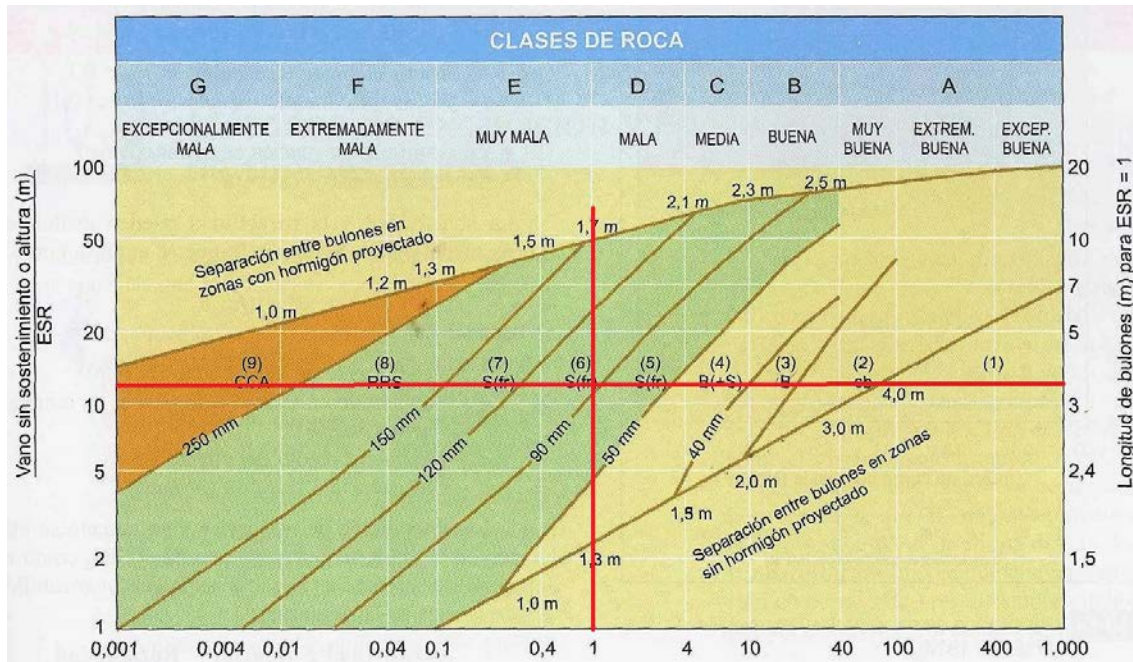


Figura 21. Sostenimiento tipo IV

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,7 a 2,1m.
- Hormigón proyectado de 90 a 120 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes las pizarras con intercalaciones de cuarcitas.

2.5 Sostenimiento tipo V

$$Q = e^{\frac{50-44}{9}} = 1,95$$

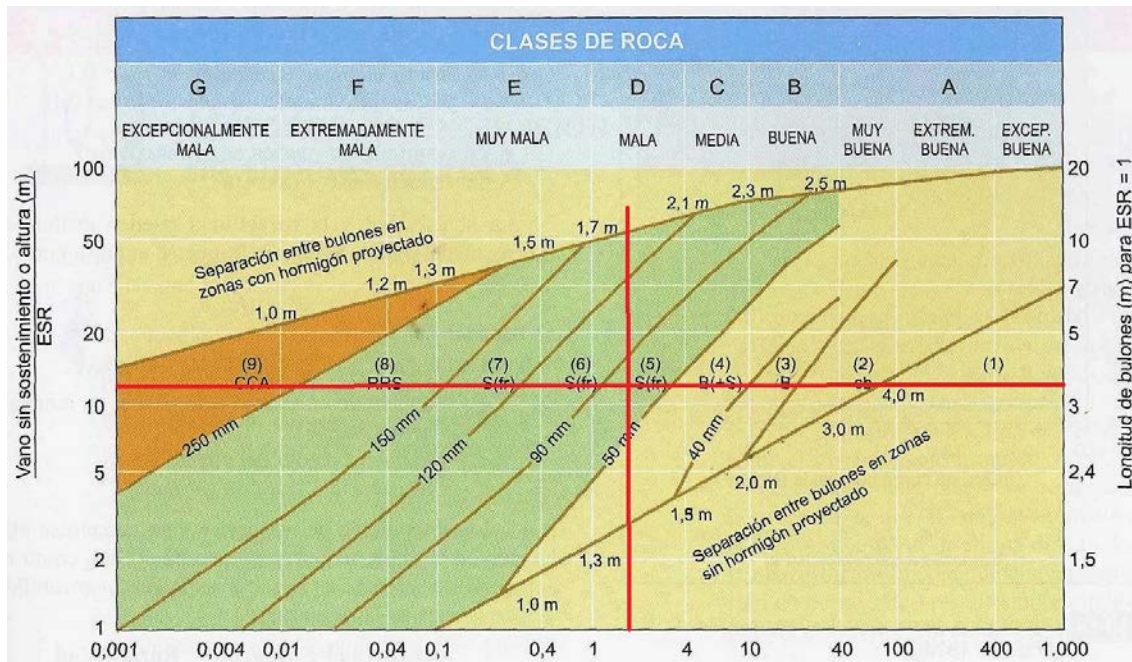


Figura 22. Sostenimiento tipo V

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,7 a 2,1m.
- Hormigón proyectado de 50 a 90 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes conglomerados.

2.6 Sostenimiento tipo VI

$$Q = e^{\frac{25-44}{9}} = 0,12$$

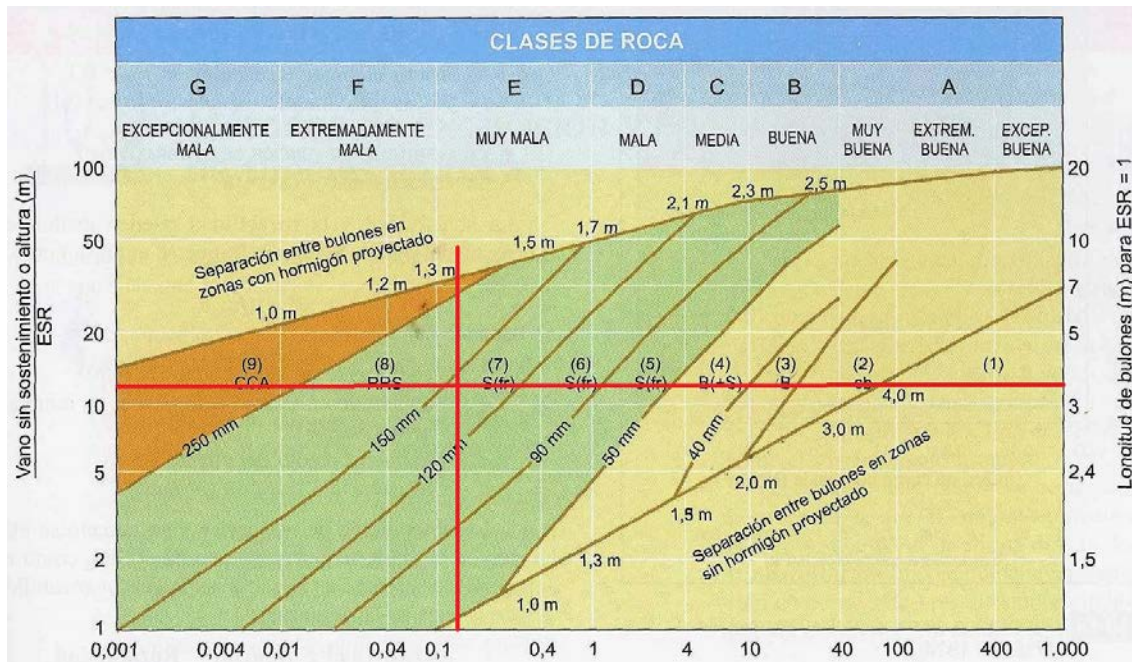


Figura 23. Sostenimiento tipo VI

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,3 a 1,5m.
- Hormigón proyectado de 120 a 150 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes la falla.

2.7 Conclusión

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante el ábaco de Barton, podrían agruparse los sostenimientos tipo en tres grupos:

Grupo I:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,7 a 2,1m.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- Hormigón proyectado de 50 a 90 mm, con fibras.

Empleándose en las zonas en las que se encuentran el complejo esquisto-grauváquico, cuarcitas, pizarras, areniscas, cuarcitas armoricanas y conglomerados.

Grupo II:

Según el resultado obtenido habría que emplear:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,7 a 2,1m.
- Hormigón proyectado de 90 a 120 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes las pizarras con intercalaciones de cuarcitas.

Grupo III:

- Bulones de 4m de longitud colocados en una malla de 1,3 a 1,5m.
- Hormigón proyectado de 120 a 150 mm, con fibras.

Este sostenimiento se empleará en las zonas en las que estén presentes la falla.



ANEXO III: CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN

1. Introducción

Los cálculos que se realizan a continuación están orientados a determinar la cantidad de aire necesaria para la respiración de las personas, la refrigeración de los equipos instalados en el interior del túnel y mantener la concentración de los gases nocivos por debajo de los límites exigidos en el Reglamento general de normas básicas de seguridad minera, ya expuesto anteriormente.

2. Datos de partida

En nuestro túnel se atacará por dos bocas, y cada una de ellas tendrá las siguientes características:

- Sección de excavación: 85m².
- Longitud del túnel: 1.660m.
- Número máximo de personas en el frente de avance: 10
- Velocidad del aire de la corriente de retorno: 0,5m/s

La maquinaria que se utilizará, tendrá la siguiente potencia:

- Un jumbo: 137kW
- Una pala cargadora: 288kW
- Una excavadora: 116kW
- Dos camiones: 362kW
- Un robot gunitador: 55kW



- Un camión hormigonera: 200kW

Por lo tanto, la potencia total en el frente de avance, en el caso más desfavorable, sería de 2.010kW.

3. Cálculo del caudal de aire

3.1 Caudal necesario para la respiración de las personas

Según la I.T.C. 04.07.01, para atender las necesidades de aire de las personas se necesita un caudal de aire 40l/s, por lo que considerando que en el caso más desfavorable en el interior del túnel se encontraran 10 personas, el caudal de aire necesario será:

$$Q_1 = 10\text{personas} \times 40\text{l/s} = 400\text{l/s} = 0,4\text{m}^3/\text{s}$$

3.2 Caudal necesario para mantener la corriente de retorno

Se establece bajo la premisa de mantener a lo largo del túnel, en ambas bocas y durante la fase de avance, una velocidad de la corriente de retorno de 0,5m/s, que se considera suficiente para provocar la dilución y arrastre se los gases producidos por los motores de combustión interna.

$$Q = S \times v$$

Siendo:

- Q (m^3/s) = Caudal de aire necesario.
- S (m^2) = Sección del túnel.
- v (m/s) = Velocidad de la corriente de retorno.



Sustituyendo los valores:

$$Q_2 = 85\text{m}^2 \times \frac{0,5\text{m}}{\text{s}} = 42,5\text{m}^3/\text{s}$$

3.3 Caudal necesario para diluir los gases de las voladuras

Cuando se realizan voladuras el caudal necesario para diluir los gases (CO, CO₂ y NO) hasta los niveles permitidos por la legislación vigente se determina por la expresión:

$$Q_3 = 0,166 \times E$$

Donde E representa el número de kilos de explosivos consumido en la voladura, que en nuestro caso es de 174,35, por lo tanto:

$$Q_3 = 0,166 \times 174,35 = 28,94\text{m}^3/\text{s}$$

3.4 Caudal necesario para diluir los gases de los motores de combustión interna

Se puede calcular este caudal en función del momento en el que haya mayor número de máquinas con motores diesel trabajando en el interior del túnel de manera simultánea y aplicando un factor de corrección del 60%, teniendo en cuenta de que ninguna de ellas trabaja al 100% de su potencia real. El caso más desfavorable se producirá durante el desescombro, cuando pueden coincidir la pala cargadora y los dos camiones, por lo que el caudal necesario según la normativa vigente será:

$$Q_4 = 0,066 \times P_{\text{kW}}$$



La potencia máxima será la empleada por la cargadora y los dos camiones, siendo esta $P_{kW} = 288kW + (2 \times 362kW) = 1012kW$.

Teniendo en cuenta el factor de corrección, nos quedaría una potencia de:

$$P_{kW} = 0,6 \times \text{Potencia máxima} = 0,6 \times 1012 = 607,2kW$$

Por lo tanto, el caudal necesario para la dilución de los gases provenientes de los motores de combustión interna es:

$$Q_4 = 0,066 \times 607,2 = 40m^3/s$$

3.5 Caudal necesario

En función de los resultados obtenidos, se observa que todos los caudales requeridos son inferiores al necesario para mantener una velocidad de retorno de 0,5m/s, que se cifra en unos 42,5m³/s, por lo tanto, este será el caudal que debe suministrar, en principio, el ventilador soplante que se instale en la boca del túnel.

Cálculo de la potencia del ventilado

Durante el recorrido del aire por la galería y por la tubería, y debido al rozamiento con las paredes y a las fugas, se producen pérdidas en el caudal de aire transportado. Las citadas pérdidas deben ser consideradas para poder determinar el caudal real que debe suministrar el ventilador y la potencia del mismo.

3.6 Diámetro de la tubería

El diámetro de la tubería viene dado por la expresión:

$$D = 0,29 \times Q^{0,5} = 0,29 \times 42,5^{0,5} = 1,89m \cong 1900mm$$



3.7 Velocidad del aire dentro de la tubería

La velocidad de la corriente de aire en el interior del conducto de ventilación viene determinada por la expresión:

$$V_F = \frac{Q}{S}$$

Donde:

- Q = caudal que tiene que suministrar la tubería.
- S = sección de la tubería (m).

$$V_F = \frac{42,5}{\pi \times (0,95)^2} = 15\text{m/s}$$

3.8 Presión dinámica

La presión dinámica viene determinada por la expresión:

$$P_F = \frac{\gamma \times (V_F)^2}{2g}$$

Donde γ es el peso específico del aire en N/m^3 (12N/m^3).

$$P_F = \frac{12 \times 15^2}{2 \times 9,81} = 137,61\text{Pa}$$

3.9 Caudal fugado

Si consideramos una instalación de tipo medio con un coeficiente de fugas $\theta = 0,0003$, el caudal fugado serían:

$$Q_F = \theta \times (P_F)^{0,5} \times \Delta L$$



Donde ΔL es la longitud del túnel, y 0,5 indica un régimen turbulento del aire dentro de la tubería.

$$Q_F = 0,0003 \times (137,61)^{0,5} \times 1660 = 5,84 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.10 Caudal total del ventilador

El caudal que debe suministrar el ventilador será:

$$Q_V = Q_2 + Q_F = 42,5 + 5,84 = 48,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.11 Pérdida de carga

Con el fin de disminuir al máximo la pérdida de carga en la tubería, utilizaremos tubería lisa en tramos de 15m de 1,9m de diámetro.

La pérdida de carga en la misma será:

$$\Delta X = \frac{\lambda \times \Delta L \times Q_V^2}{D^5} D$$

Donde:

- λ = coeficiente de fricción
- ΔL = longitud del túnel.
- Q_V = caudal del ventilador del portal del túnel.
- D = diámetro de la tubería (m)

$$\Delta X = \frac{0,02 \times 1660 \times 48,34^2}{1,9^5} = 3133,17 \text{ Pa}$$



3.12 Pérdida de carga total

La pérdida de carga total (presión a suministrar por el ventilador) será:

$$\Delta H = P_f + \Delta X = 137,61\text{Pa} + 3133,17\text{Pa} = 3270,78\text{Pa}$$

3.13 Potencia del ventilador

El punto de funcionamiento del ventilador queda definido por:

- $Q_v = 48,34\text{m}^3/\text{s}$
- $\Delta H = 3.270,78\text{Pa}$
- $\eta = \text{rendimiento del ventilador (75\%)}$

La potencia aerodinámica a suministrar por el ventilador se determina mediante la expresión:

$$P = \frac{Q \times \Delta H}{\eta} = \frac{48,34 \times 3270,78}{0,75} = 210.812,67\text{W} = 210\text{kW}$$



ANEXO IV: CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES AUXILIARES

1. Aire comprimido

La red de aire comprimido estará compuesta por un compresor, un calderín y tubería de conducción del aire.

Los elementos que requieren del uso de aire comprimido serán los siguientes:

- Robot de gunitado: 18m³/min.
- Llaves de impacto: 1,05m³/min.
- Otros: 5m³/min
- Pérdidas aproximadas (10%): 3m³/min.

1.1 Determinación del compresor y la tubería

Para el cálculo del compresor partimos de una presión de trabajo de 7,5bar.

1.1.1 Caudal de trabajo

Este caudal es la suma de los caudales de todas las máquinas multiplicado por el coeficiente de simultaneidad, K:

$$Q_T = Q_i \times K = (18 + 1,05 \times 2 + 5 + 3) \times 0,7 = 19,67\text{m}^3/\text{min} \approx 20\text{m}^3/\text{min}$$

Será necesario un compresor, preferiblemente de tornillo, que suministre un caudal de aire comprimido de 20m³/min, y 7,5bar de presión.



1.1.2 Cálculo del diámetro de la tubería

El diámetro de la tubería necesaria para la red de aire comprimido se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt[5]{\frac{0,008 \times Q^{1,85} \times L}{P \times p}}$$

Donde:

- D: diámetro interior de la tubería (en pulgadas).
- P: presión inicial (en bar).
- p: pérdida de carga admitida (en bar).
- Q: caudal de aire a transportar (en m³/min)
- L: longitud de la tubería (en m).

$$D = \sqrt[5]{\frac{0,008 \times 20^{1,85} \times 1.660}{7,5 \times 1}} = 8,5''$$

En función de estos resultados, el aire comprimido necesario para las operaciones de gunitado y accionamiento de maquinaria auxiliar, será suministrado por un compresor de 20m³/min a una presión de 7,5bar.

2. Desagüe

Se instalara un sistema de desagüe dentro del túnel, teniendo en cuenta datos hidrológicos y climatológicos de la zona.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Debido a que la trazada presenta una pendiente en sentido ascendente Norte-Sur con una inclinación máxima de 14,3‰, solo será necesaria la instalación de una bomba de desagüe en la boca Sur.

La instalación estará compuesta por un equipo de bombas y las conducciones pertinentes, estando previsto realizar el bombeo en una sola etapa. Las aguas bombeadas serán tratadas en balsas de decantación antes de su incorporación a cauces públicos.

En principio se instalará una bomba centrífuga sumergible lo más próxima posible al frente de avance, creándose en las proximidades de aquel un pozo de aspiración con capacidad próxima a 2m³

Para el cálculo de la instalación se parte de los siguientes datos:

- Aportación estimada de agua: 10m³/h
- Longitud de bombeo: 1.660m.

2.1 Cálculo de la instalación

La evacuación de las aguas se hará a través de una tubería flexible de PVC de las siguientes características:

- Factor de fricción: 290 x 10⁻⁴m/s
- Velocidad máxima de diseño en tubería de impulsión: 0,7m/s
- Diámetro de la tubería de impulsión: 80mm
- Longitud de la tubería de impulsión: 1.660m

Las pérdidas de carga primaria pueden estimarse por la expresión:

$$\Delta H = \frac{f \times L \times V^2}{2 \times d \times g}$$



$$\Delta H = \frac{290 \times 10^{-4} \times 1.660 \times 0,7^2}{2 \times 0,08 \times 9,81} = 15\text{m}$$

La altura manométrica que debe vencer la bomba a instalar será de 15,08m.

2.2 Selección de la bomba

Con los datos obtenidos se selecciona una bomba centrífuga, la cual se sobredimensionara un 60% para atender incrementos imprevistos del caudal a bombear y aumentos de las pérdidas de carga de la instalación. Por consiguiente la bomba a utilizar tendrá las siguientes características:

- Altura manométrica: $15 \times 1,6 = 24\text{m}$
- Caudal de desagüe: $10 \times 1,6 = 16\text{m}^3/\text{hora}$

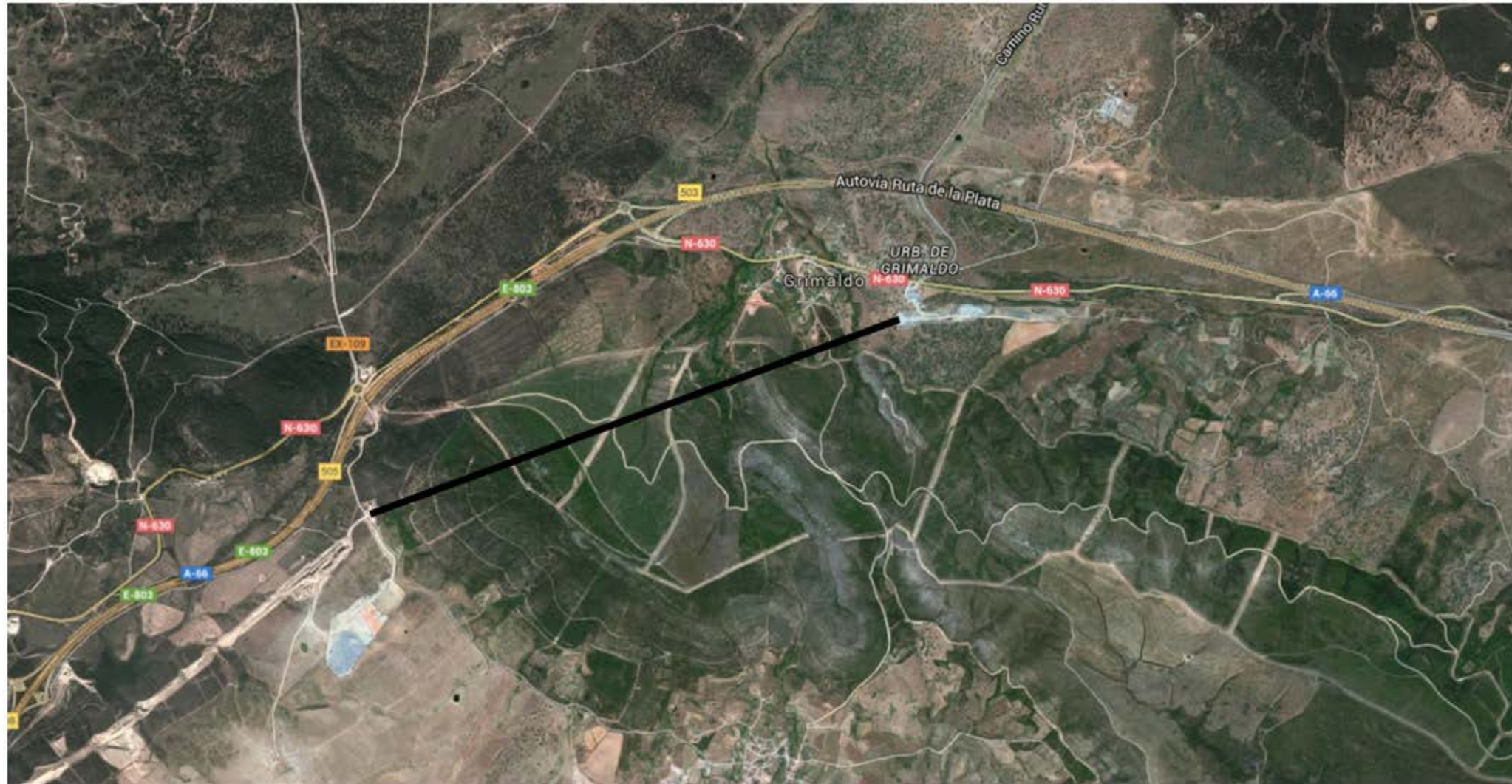
DOCUMENTO 2

PLANOS



ÍNDICE DE PLANOS

Plano nº 1: Situación.....	2
Plano nº 2: Geología.....	3
Plano nº 3: Sección del túnel	4
Plano nº 4: Distribución de los barrenos	5
Plano nº 5: Secuencia de encendido	6



UNIVERSIDAD DE LEÓN
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS



GRADO EN INGENIERÍA MINERA

CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA

PLANO DE

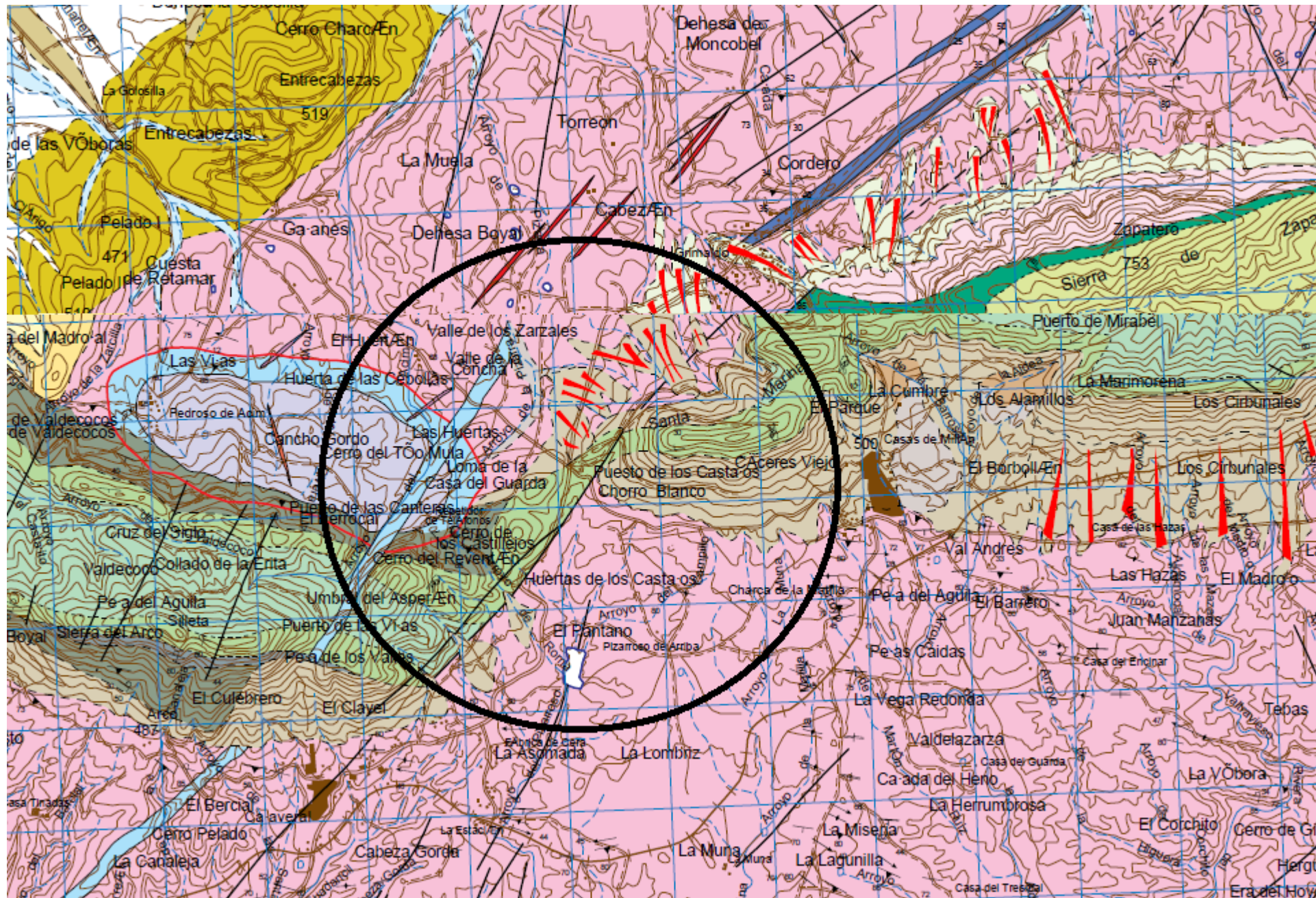
ESCALA

FECHA

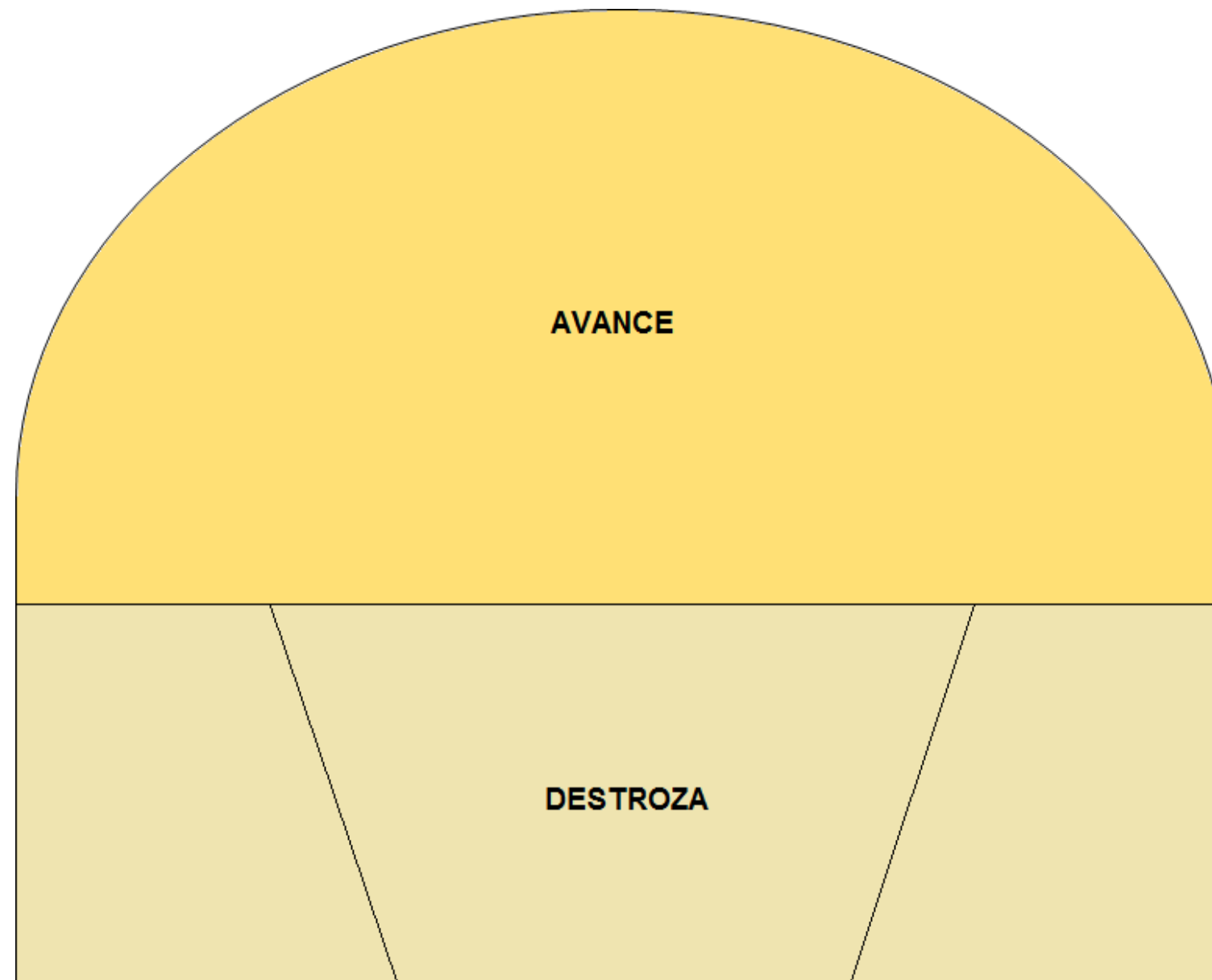
SEPTIEMBRE
2016

Fdo.: ANDREA GONZÁLEZ FERNANDEZ

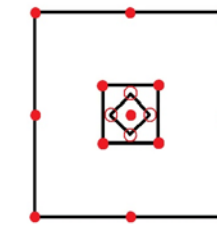
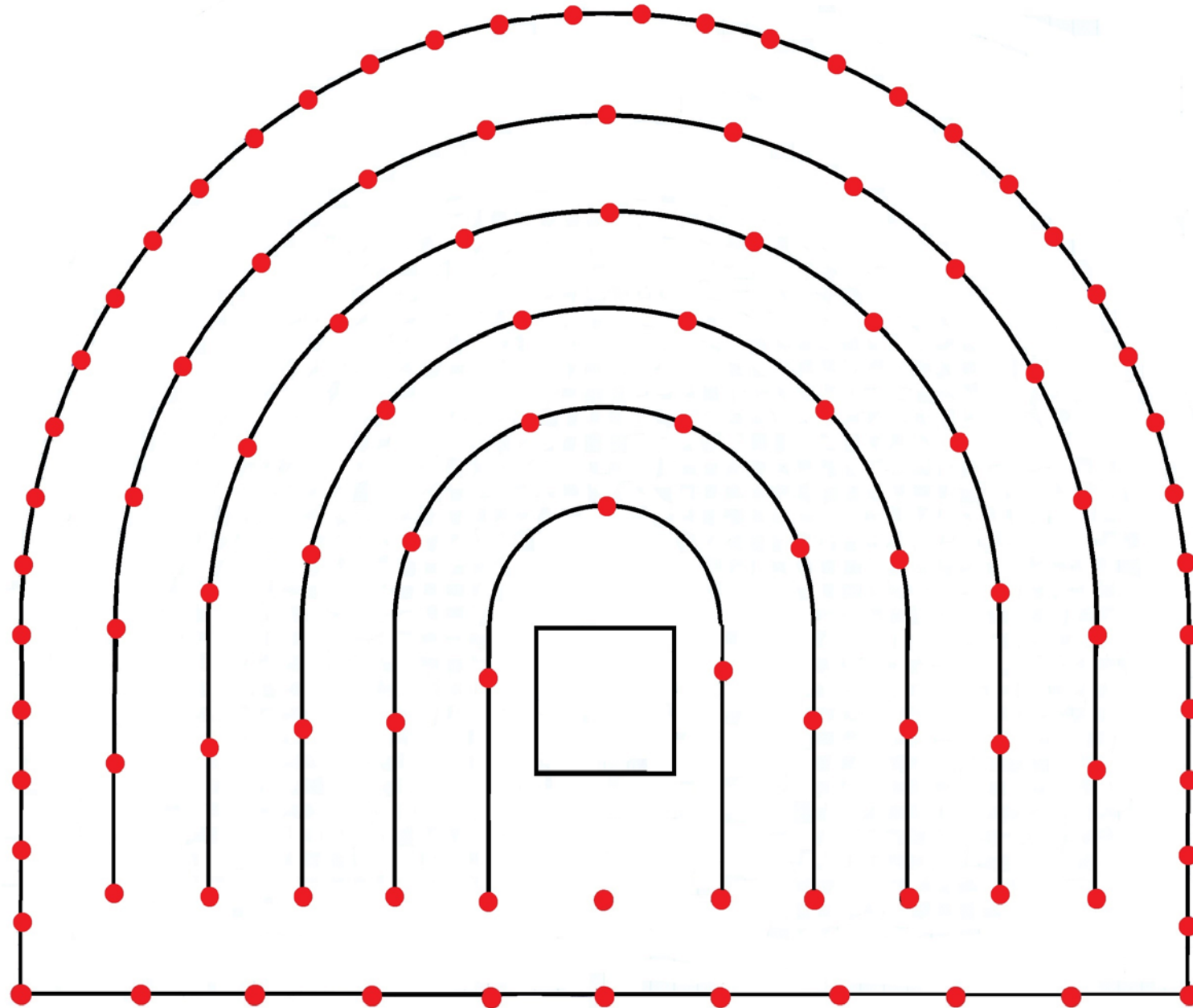
PLANO Nº



		UNIVERSIDAD DE LEÓN			
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS					
GRADO EN INGENIERÍA MINERA					
CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA					
PLANO DE					
ESCALA					PLANO Nº
FECHA	SEPTIEMBRE 2016	Fdo.: ANDREA GONZÁLEZ FERNANDEZ			



		UNIVERSIDAD DE LEÓN			
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS					
GRADO EN INGENIERÍA MINERA					
CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA					
PLANO DE					
ESCALA					PLANO Nº
FECHA	SEPTIEMBRE 2016	Fdo.: ANDREA GONZÁLEZ FERNANDEZ			



DETALLE DEL CUELE



UNIVERSIDAD DE LEÓN
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS



GRADO EN INGENIERÍA MINERA

CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA

PLANO DE

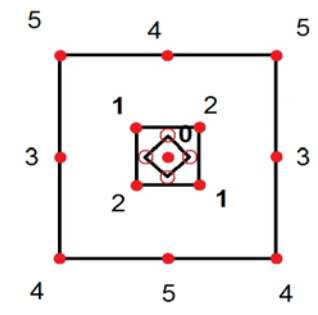
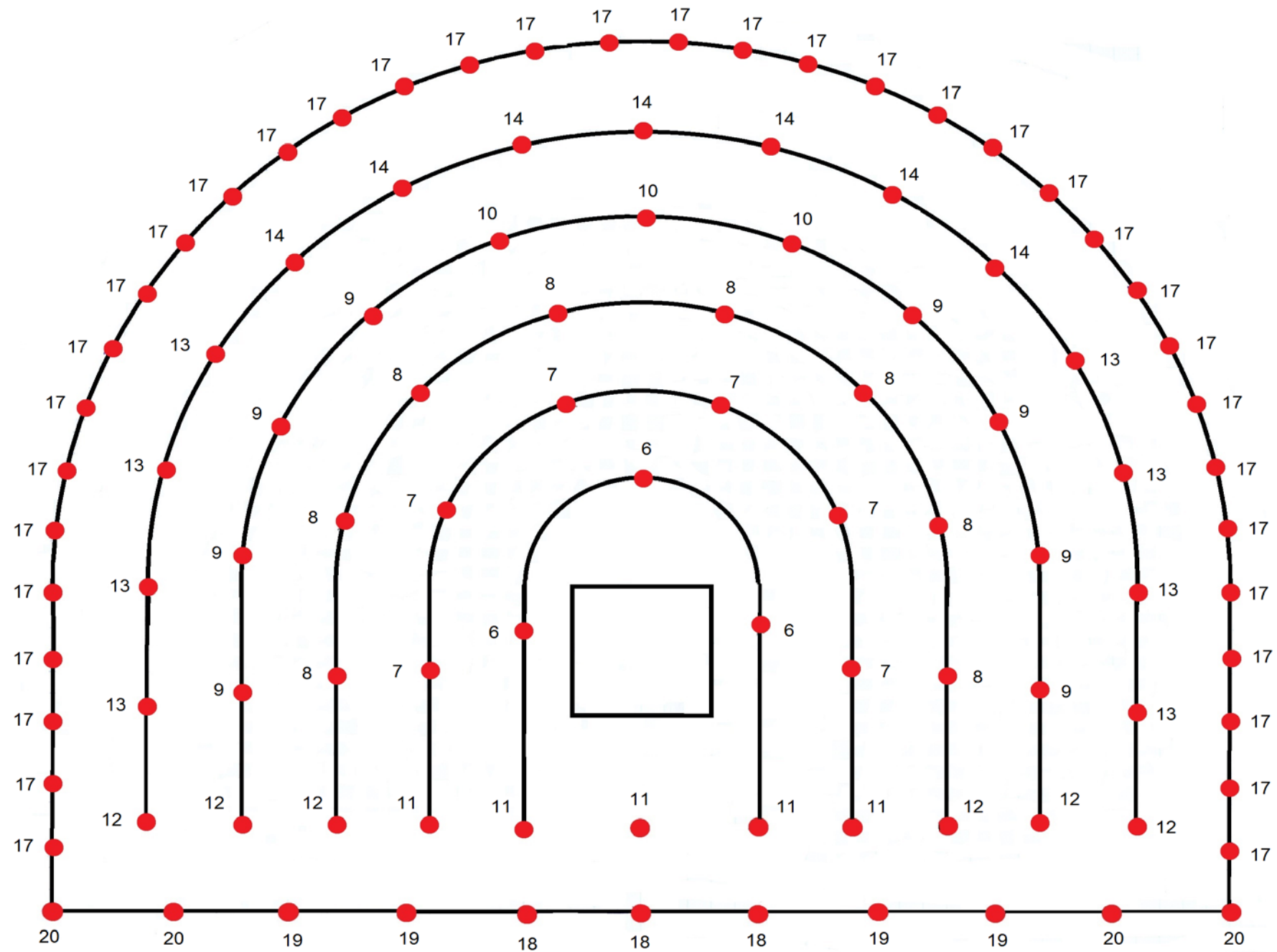
ESCALA

FECHA

SEPTIEMBRE
2016

Fdo.: ANDREA GONZÁLEZ FERNANDEZ

PLANO Nº



	UNIVERSIDAD DE LEÓN		
ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIEROS DE MINAS			
GRADO EN INGENIERÍA MINERA			
CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA			
PLANO DE			
ESCALA			PLANO N°
FECHA	SEPTIEMBRE 2016	Fdo.: ANDREA GONZÁLEZ FERNANDEZ	

DOCUMENTO 3

**PLIEGO DE
CONDICIONES**



ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1. Prescripciones técnicas generales.....	5
1.1. Obra a la que se aplicará este pliego de prescripciones técnicas.....	5
1.2. Normas para la realización de trabajos con maquinaria para obras	5
1.3. Materiales, piezas y equipos en general	7
1.4. Protección de la calidad de las aguas y sistemas de depuración primaria.....	8
1.5. Tratamiento y gestión de residuos.....	8
1.6. Desarrollo de la vigilancia ambiental	9
2. Marco normativo	9
3. Disposiciones generales	11
3.1. Disposiciones que además de la legislación general regirán durante la vigencia del contrato.....	11
3.2. Precauciones a adoptar durante la ejecución de la obra	11
3.3. Explosivos y equipos para explosivos.....	12
3.4. Plan de seguridad y salud	13
3.5. Vigilancia de las obras	14
3.6. Responsabilidades y obligaciones del contratista	14
4. Excavación en túneles y trabajos en emboquilles	15
4.1. Condiciones generales.....	15
4.2. Condiciones del proceso de excavación.....	15
4.2.1. Excavación con explosivos	15



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



4.2.2. Excavación mecánica	17
4.2.3. Saneos.....	17
4.2.4. Longitud de avance	18
4.2.5. Excesos o defectos en la excavación.....	18
4.2.6. Contención de taludes con bulonajes, mallazo, hormigón proyectado y escollera.....	19
4.2.7. Paraguas de protección y vigas de atado	19
4.2.8. Túneles artificiales y picos en flauta	19
4.3. Medición y abono	20
5. Sostenimiento en túnel	20
5.1. Condiciones generales.....	20
5.1.1. Tipos de sostenimiento.....	20
5.1.2. Normas generales de ejecución	21
5.1.3. Precauciones especiales.....	22
5.1.4. Refuerzos.....	22
5.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	23
5.2.1. Bulones	23
5.2.2. Mallazo	26
5.2.3. Fibras de acero.....	27
5.2.4. Cerchas	27
5.2.5. Hormigón proyectado.....	29
5.2.6. Paraguas de micropilotes.....	33
6. Inyección del trasdós del revestimiento del túnel	34
6.1. Definición y condiciones generales.....	34



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



6.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	34
7. Revestimiento de túneles.....	35
7.1. Definición y condiciones generales.....	35
7.2. Elementos complementarios del revestimiento de túneles en mina y túneles artificiales.....	40
8. Impermeabilización y drenaje del túnel.....	40
8.1. Definición y condiciones generales.....	40
8.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	41
9. Tratamientos especiales.....	43
9.1. Definición y condiciones generales.....	43
9.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	44
9.2.1. Micropilotes para formación de paraguas en el frente de excavación.....	44
9.2.2. Inyección de lechada de cemento o mortero.....	44
9.2.3. Bulonado del frente.....	46
10. Control, auscultación y seguimiento del túnel.....	46
10.1. Definición y condiciones generales.....	46
10.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	47
10.2.1. Topografía de interior.....	47
10.2.2. Control de secciones transversales, gálibos y soleras.....	47
10.2.3. Otros controles y mantenimientos rutinarios.....	47
10.2.4. Medidas de convergencia, extensométricas y de presión.....	48
10.2.5. Realización de medidas.....	49
10.2.6. Ayudas a la auscultación y seguimiento técnico.....	52



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



10.2.7. Análisis y valoración de la calidad geotécnica de los terrenos atravesados	53
10.2.8. Control de calidad del bulonado.....	53
10.2.9. Control de calidad del hormigón proyectado	53
11. Puesta a tierra de elementos metálicos y armaduras en túneles	54
11.1. Definición y condiciones generales.....	54
11.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	54
12. Integración ambiental: extendido de tierra vegetal	56
12.1. Condiciones generales	56
12.2. Condiciones del proceso de ejecución.....	57



1. Prescripciones técnicas generales

1.1 Obra a la que se aplicará este Pliego de Prescripciones Técnicas

La obra del Túnel de Santa Marina corresponde con la ejecución de la línea de alta velocidad correspondiente al tramo Grimaldo–Casas de Millán de la línea de alta velocidad Madrid – Extremadura.

La obra se realizará de acuerdo con los planos del proyecto utilizados para la ejecución.

Será responsabilidad del contratista la elaboración de cuantos planos complementarios de detalle sean necesarios para la correcta realización de las obras.

El contratista dispondrá en obra de una copia completa de los pliegos de prescripciones, un juego completo de los planos del proyecto, así como copias de todos los planos complementarios desarrollados por el contratista o de los revisados suministrados por la dirección de obra, junto con las instrucciones y especificaciones complementarias que pudieran acompañarlos.

1.2 Normas para la realización de trabajos con maquinaria para obras

- La circulación de la maquinaria de obra debe realizarse exclusivamente por el interior de los límites de ocupación de la zona de obras o sobre los itinerarios de acceso a los préstamos y a los depósitos reservados a tal efecto.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- El contratista debe acondicionar las pistas de obra necesarias para la circulación de su maquinaria.
- El contratista está obligado a mantener un control efectivo de la generación de polvo en el entorno de las obras, adoptando las medidas pertinentes, entre ellas:
 - Realizar periódicamente operaciones de riego sobre los caminos de rodadura.
 - En la realización de voladuras, utilizar para el retacado material granular y tacos de arcilla.
- El cruce o el entronque de las pistas de obra con cualquier vía pública debe establecerse de acuerdo con la administración responsable, y mantenerse limpios y en buen estado.
- Todo camino de obra que vadee directamente cursos de agua, requerirá la construcción de pasos provisionales que eviten la turbidez de las aguas por el paso frecuente de maquinaria.
- El contratista debe asegurar el suministro, la colocación, el funcionamiento, el mantenimiento, la retirada y recogida de los dispositivos de señalización y de seguridad vial, una vez finalizada la obra.
- El Contratista queda obligado a un estricto control y vigilancia de las obras para no amplificar el impacto de la obra en sí por actuaciones auxiliares, como apertura de caminos de obra provisionales, depósitos temporales o vertidos indiscriminados de imposible retirada posterior, ateniéndose en todos los casos a la clasificación del territorio de zonas excluidas, restringidas y admisibles. Para ello, el contratista, acompañando a la solicitud de autorización para apertura de caminos provisionales, o para ocupación de terrenos, presentará a la Dirección de Obras un plan que incluya:



- Delimitación exacta del área a afectar por las obras, previo replanteo.
- Prevención de dispositivos de defensa de vegetación, riberas y cauces de agua.
- Delimitación de zonas de proyección o derrame de materiales.

1.3 Materiales, piezas y equipos en general

Todos los materiales, piezas, equipos y productos industriales, en general, utilizados en la instalación, deberán ajustarse a las calidades y condiciones técnicas impuestas en el presente pliego. En consecuencia, el contratista no podrá introducir modificación alguna respecto a los referidos materiales, piezas y equipos sin previa y expresa autorización del director de la obra.

Los ensayos, análisis y pruebas que deben realizarse con los materiales, piezas y equipos que han de entrar en la obra, para fijar si reúnen las condiciones estipuladas en el presente pliego se verificarán bajo la dirección del director de la obra.

Todas las piezas y equipos estarán provistos de placa metálica, rótulo u otro sistema de identificación con los datos mínimos siguientes:

- Nombre del fabricante.
- Tipo o clase de pieza o equipos.
- Material de que está fabricado.
- N° de fabricación.
- Fecha de fabricación.

Los materiales, piezas o equipos se almacenarán de tal modo que se asegure la conservación de sus características y aptitudes para su empleo en la obra y de forma que se facilite su inspección.



El Contratista será, así mismo, responsable de la custodia de los materiales acopiados.

1.4 Protección de la calidad de las aguas y sistemas de depuración primaria

Para cualquier ocupación del dominio público hidráulico provisional o definitivo, el contratista deberá obtener la correspondiente autorización de la confederación hidrográfica del Tajo.

Las instalaciones en las que pueda generarse cualquier tipo de aguas residuales, el contratista diseñará y ejecutará a su cargo las instalaciones adecuadas, correctamente dimensionadas, lo que se estudiará y reflejará explícitamente para el desbaste y decantación de sólidos (balsas de decantación).

La ubicación será en las zonas de instalaciones, en la boca del túnel.

Es necesario asegurar el acceso a las balsas para permitir su limpieza y mantenimiento.

En las cercanías de los sistemas fluviales y en previsión de arrastres de sólidos en determinados puntos durante la realización de las obras se instalarán barreras de sedimentos.

1.5 Tratamiento y gestión de residuos

Los vertidos de aceites, combustibles, cementos y otros sólidos procedentes de las zonas de instalaciones no serán, en ningún caso, vertidos a los cursos de agua. La gestión de esos productos residuales deberá estar de acuerdo con la normativa aplicable en cada caso.



Para evitar la contaminación de las aguas y del suelo por vertidos accidentales las superficies sobre las que se ubiquen las instalaciones auxiliares deberán tener un sistema de drenaje superficial, de modo que los líquidos circulen por gravedad y se pueda recoger en las balsas de decantación cualquier derrame accidental antes de su infiltración en el suelo.

1.6 Desarrollo de la Vigilancia Ambiental

La vigilancia ambiental de las obras tiene como objetivos básicos:

- Velar para que, en relación con el medio ambiente, las obras se realicen según el proyecto y las condiciones de su aprobación.
- Determinar la eficacia de las medidas de protección ambiental contenidas en la declaración de impacto.
- Verificar la exactitud y corrección de la evaluación de impacto ambiental realizada.

El contratista deberá nombrar un responsable técnico de medio ambiente que será el responsable de la realización de las medidas correctoras.

A estos efectos, el contratista está obligado a presentar al director de la obra, al inicio de la misma, un plan de gestión ambiental de la obra para su aprobación, o modificación si fuera necesario.

2. Marco normativo

Será de aplicación la normativa técnica vigente en España en la fecha de la contratación de las obras. En particular se observarán las normas o instrucciones de la



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



siguiente relación, entendiéndose incluidas las adiciones y modificaciones que se produzcan hasta la citada fecha:

- U.I.C. (Normas de la Unión Internacional de Ferrocarriles) así como todas aquellas Normas vigentes en RENFE relacionadas con las obras.
- E.H.E. Instrucciones de Hormigón Estructural (B.O.E. 13.01.99) y modificaciones posteriores: RD 996/1999 de 11 de Junio.
- NBE EA-95 Norma Básica para las estructuras de acero en edificación; RD 1829/1995, de 10 de Noviembre.
- I.O.S.-98 Instrucciones para el proyecto, construcciones y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (B.O.E. 1-12-98).
- Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros (Ministerio de Fomento 2001).
- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 665/1997, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante le trabajo.
- R.D. 681/2003, de 12 de Junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 9.3.71) (B.O.E. 16.3.71).
- Reglamento de explosivos de 16.2.98 (B.O.E. 12.3.98)
- Normas ISO 9000 sobre Sistemas de Calidad e ISO 14000 sobre Sistemas de Gestión Medio-Ambiental.



Las normas de este pliego de prescripciones técnicas particulares prevalecerán, en su caso, sobre las de la normativa técnica general.

3. Disposiciones generales

3.1 Disposiciones que además de la Legislación General regirán durante la vigencia del contrato

Además de lo señalado en el apartado 2 del presente pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, durante la vigencia del contrato regirá el pliego de cláusulas administrativas particulares que se establezca para la contratación de las obras.

3.2 Precauciones a adoptar durante la ejecución de la obra

Todas las obras proyectadas deben ejecutarse sin interrumpir el tránsito. La ejecución se programará y realizará de manera que las molestias que se deriven para las circulaciones ferroviarias, el tráfico por carretera y el urbano sean mínimos.

El contratista adoptará las medidas necesarias para la perfecta regulación del tráfico.

El contratista establecerá el personal de vigilancia competente y en la cantidad necesaria, para que impida toda posible negligencia e imprudencia que pueda entorpecer el tráfico o dar lugar a cualquier accidente.

El contratista adoptará, bajo su entera responsabilidad, todas las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones vigentes referentes al empleo de explosivos y a la prevención de accidentes, incendios y daños a terceros, y seguirá las instrucciones complementarias que pueda dar a este respecto el director de obra.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



El contratista está obligado a no alterar con sus trabajos la seguridad de los viajeros, los servicios de trenes y demás transportes públicos en explotación.

Los accesos que realice el contratista para ejecutar las obras deberán ser compatibles con los plazos de obras parciales y totales que aprueben contractualmente entre la empresa responsable de los trenes y la empresa ejecutora de las obras.

Cuando el director de obra lo estime necesario, tanto por razones de seguridad como por otros motivos, podrá tomar a su cargo directamente la organización de los trabajos, sin que pueda admitirse reclamación alguna fundada en este particular.

3.3 Explosivos y equipos para explosivos

En el caso de utilizar explosivos, el contratista tiene la obligación de respetar la preinscripciones de seguridad en vigor. En particular el contratista debe tomar todas las precauciones necesarias para que el almacenamiento, la manipulación y el uso de los explosivos no representen ningún peligro para el personal o para terceros y no causen ningún daño a las propiedades u obras próximas.

Debe de estudiarse cuidadosamente el plan de tiro de manera que se evite todo riesgo de degradación de las obras y los edificios existentes o en curso de construcción, así como las líneas de transporte de la energía eléctrica. El contratista debe de realizar los ensayos y medidas de vibración necesarias.

El contratista tiene la obligación de respetar la reglamentación relativa a explosivos y, le corresponde obtener todas las autorizaciones administrativas necesarias.

El Contratista es el responsable de todos los accidentes o daños que puedan resultar del uso de los explosivos.



El contratista está obligado a adoptar medidas protectoras de carácter ambiental en cuanto a:

- Control de la generación de polvos en las entradas de los túneles y desmontes que requieren el empleo de barrenos y explosivos.
- Control de la onda expansiva de las voladuras.
- Realización de las voladuras en las horas y condiciones más adecuadas, en coordinación con la dirección ambiental de obra.

3.4 Plan de seguridad y salud

De acuerdo con el R.D. 162/97 de 24 de octubre, el contratista elaborará un plan de seguridad y salud, ajustado a su forma y medios de trabajo, sin cuya previa aprobación no podrá iniciarse la obra. El plan deberá cumplir las siguientes características:

- Ajustarse a las particularidades del proyecto.
- Incluir todas las actividades a realizar en la obra.
- Incluir la totalidad de los riesgos laborales en los puestos de trabajo y las medidas técnicamente adecuadas para combatirlos..
- Incluir el plan de medidas de emergencia y evacuación..

El contratista está obligado a adecuar mediante anexos el plan de seguridad y salud cuando, por la evolución de la obra, haya quedado ineficaz o incompleto.

Todo personal de la obra deberá utilizar el equipo de protección individual que se requiera en cada situación.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Las actividades de formación-información sobre seguridad y salud se extenderán a todo el personal de la obra.

A las reuniones de planificación de operaciones especiales deberán asistir el responsable de seguridad y salud del contratista y el coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

El director de la obra, el coordinador de seguridad y salud, el jefe de obra y el responsable de seguridad y salud del contratista, junto con los colaboradores que se estimen oportuno, examinarán la información sobre accidentes procedente del grupo permanente de trabajo sobre seguridad y salud y adoptarán las medidas tendentes a evitar su incidencia en la obras.

3.5 Vigilancia de las obras

El director de obra establecerá la vigilancia que estime necesaria, designando al personal y estableciendo las funciones y controles a realizar.

El contratista facilitará el acceso a los tajos y la información requerida para el personal asignado a estas funciones.

3.6 Responsabilidades y obligaciones generales del contratista

Durante la ejecución de las obras proyectadas y de los trabajos complementarios necesarios para la realización de las mismas, el contratista será el responsable de todos los daños y perjuicios que se puedan ocasionar a cualquier persona, propiedad o servicio público o privado, como consecuencia de los actos, omisiones o negligencias del personal a su cargo.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Deberá cumplir todas las disposiciones vigentes y las que se dicten en el futuro, sobre materia laboral, social y de seguridad en el trabajo.

El contratista se compromete a que todos los trabajadores tengan información sobre los riesgos de su trabajo y de las medidas para combatirlos.

Los permisos y licencias necesarias para la ejecución de las obras deberán ser obtenidos por el contratista.

El contratista queda obligado a cumplir el presente pliego, el texto del reglamento general de contratación (R.D. 3410/1975) y el pliego de cláusulas administrativas particulares que se redacte para la licitación, la ordenanza general de seguridad y salud, la ley de industria de 16.07.92 (B.O.E. 23.7.92) y la ley de contratos de administraciones públicas de 16 de junio de 2000.

4. Excavación en túneles y trabajos en emboquille

4.1 Condiciones generales

La excavación de los túneles se efectuará en dos fases principales sucesivas, correspondientes a: avance (media sección superior) y destroza (media sección inferior), definidas geoméricamente en los planos.

4.2 Condiciones del proceso de excavación

4.2.1 Excavación con explosivos

Este método será aplicable siempre que las autoridades pertinentes aprueben el empleo de explosivos y las características geotécnicas del terreno lo favorezcan.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Antes del inicio de los trabajos de excavación, el contratista propondrá a la dirección de obra, para su aceptación, los esquemas de tiro que piense utilizar en los diferentes tipos de terreno. El plan de tiro inicial podrá ser modificado en función de la experiencia adquirida durante la ejecución de la obra, previa aprobación de la dirección de obra, por escrito.

El plan de tiro deberá analizar en particular:

- Tipos y características técnicas de los explosivos previstos.
- Reparto de las cargas de barrenos.
- Diámetro y longitud de los barrenos.
- Distancia entre barrenos.
- Retardos y micro-retardos previstos.
- Cargas instantáneas y cargas totales.

Los barrenos de contorno o de perfil deberán ser rigurosamente paralelos y equidistantes (desviación máxima tolerada de tres centímetros por metro).

La distancia (S) entre barrenos del perfil no sobrepasará quince veces el diámetro del barreno.

El explosivo se repartirá uniformemente en toda la longitud del barreno y el diámetro de las cargas será aproximadamente la mitad del diámetro de los barrenos.

Los barrenos del perfil se tirarán simultáneamente y en la última fase de la voladura.



4.2.2 Excavación mecánica mixta

En determinados tipo de terrenos inestables y de baja calidad geotécnica en los cuales la eficacia de explosivo es débil o nula, se utilizará la excavación mecánica con la eventual utilización de pequeñas cantidades de explosivos para fragmentar las zonas más compactas. En caso de recurrir a la técnica del taqueo, el explosivo no podrá nunca ser utilizado cerca del contorno de la excavación a una distancia inferior a 1 m.

Tanto si se utilizan los medios mecánicos solos, como si se utilizan combinados con un taqueo, el acabado del perfil de excavación definitivo se hará con martillo picador.

4.2.3 Saneos

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 fracturados no desprendidos de la sección.

Se realizará un primer saneo con cazo provisto de dientes, eliminando después salientes y bloques de estabilidad dudosa con martillo hidráulico, barras, etc.

La operación de saneo estará siempre vigilada por un capataz experto, evitando en todo momento que se produzca el descalce de bloques y el aumento de irregularidades en la sección excavada, que repercutan desfavorablemente en la estabilidad de la sección.



4.2.4 Longitud de avance

La longitud de avance especificada en proyecto o, en su caso, la establecida por la dirección de obra en función de la experiencia del propio túnel, habrá de ser rigurosamente respetada por el contratista, ya que constituye uno de los parámetros básicos en la seguridad de la realización de la obra, influye en la calidad del perfilado y en el volumen de sobreexcavación, y en consecuencia afecta a la efectividad de los sostenimientos.

Si no se respetara esta condición, la responsabilidad y riesgo por los excesos que se produjesen en la excavación recaerán sobre el contratista.

4.2.5 Excesos o defectos en la excavación

En la figura 1 adjunta, se define la línea teórica de excavación y la línea de abono de la excavación. El contratista realizará la excavación de la sección para conseguir que el perfil realmente excavado se encuentre todo él dentro de la línea teórica de excavación antes definida.

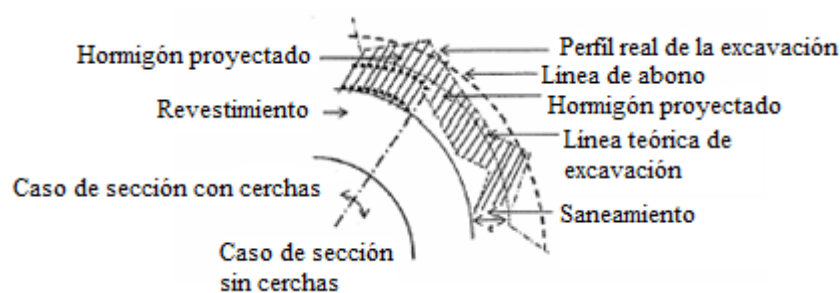


Figura 24. Línea teórica de excavación

La regularización de las concavidades se hará mediante hormigón proyectado y los salientes mediante recorte con martillo rompedor, coincidiendo con la labor de saneo antes definida.



El relleno de las sobreexcavaciones consideradas abonables se realizará, según los casos:

- Con el propio hormigón proyectado del sostenimiento, en las secciones que incluyan la disposición sistemática de cerchas.
- En las demás secciones, con un espesor de hormigón proyectado igual al teórico del sostenimiento.

4.2.6 Contención de taludes con bulonajes, mallazo, hormigón proyectado y escollera

Durante y después de la excavación, los taludes de las bocas pueden demandar elementos de sustentación, para ello se emplearán anclajes pasivos de bulones de redondo de 0,032m de diámetro, malla electrosoldada y hormigón proyectado de 30MPa.

4.2.7 Paraguas de protección y vigas de atado

Los paraguas estarán constituidos por micropilotes con tubo de acero o mediante unas barras de acero corrugado. Los paraguas quedarán inyectados con mortero o lechada de cemento.

Los taladros se ejecutarán siguiendo el contorno de la excavación, a la distancia que marcan los planos, con una ligera pendiente que garantice que los taladros desviados no afecten a la sección.

4.2.8 Túneles artificiales y picos en flauta

Son obras de hormigón armado "in situ". El hormigón de las bóvedas y hastiales incorporará en su dosificación fibra de polipropileno (2kg/m^3), para conferir una mayor



resistencia al fuego. La dosificación será de dos kilogramos por metro cúbico, no mermando las facultades resistentes del hormigón.

4.3 Medición y abono

En la excavación con medios convencionales, además de considerar precios diferentes para las dos fases de avance y destroza, se establecen distintos precios unitarios de excavación, dependiendo de cada tipo de terreno y de las dificultades, rendimiento y medios que sean necesarios utilizar en cada caso.

Las estructuras de los túneles artificiales cumplirán las especificaciones de los artículos de "estructuras" del presente pliego, debiendo tener en cuenta que el hormigón de bóveda y hastiales incluirá fibra de polipropileno. Para el resto de unidades de obra se aplicarán los precios de estructuras.

5. Sostenimientos en túnel

5.1 Condiciones generales

5.1.1 Tipos de sostenimientos

Dentro del conjunto de elementos a colocar en la sección del túnel para garantizar su estabilidad se establece una diferenciación entre sostenimientos ordinarios, colocados durante la excavación del túnel, y elementos singulares o de refuerzo. Estos últimos son los que se colocan, previa autorización de la dirección de obra en secciones ya excavadas o sostenidas, pero cuyo comportamiento, determinado a través de las medidas de convergencia o mediante inspección de fallos y grietas, aconseja refuerzos adicionales.



Los planos definen los tipos de sostenimientos ordinarios a colocar en el frente y en los emboquilles.

5.1.2 Normas generales de ejecución

La proyección de una capa de sellado de hormigón de 30mm a 50mm de espesor, reforzado con fibras de acero, se ejecutará una vez saneada la excavación para garantizar a corto plazo la estabilidad de la sección, evitando con ello los fenómenos de venteo y alteración, que pudieran originar desprendimientos de fragmentos en la zona de trabajo.

Se utilizará la capa de sellado en todos los pases que se realicen en avance y, tan solo, en los terrenos de peor calidad en los pases que se realicen en destroza.

Los espesores de la capa de sellado se considerarán incluidos dentro del espesor total del hormigón proyectado que en cada caso se especifique.

Los bulones para el cosido del terreno (sin placa), habrán de colocarse inmediatamente después de la capa de sellado. La malla metálica se colocará en la fase especificada, siendo las placas de los bulones las que servirán de fijación.

Las cerchas, preformadas y dobladas suelen colocarse con el hueco del perfil metálico hacia el terreno. Se utilizarán para fijarlas al terreno al menos tres bulones en la sección de avance y dos en la de destroza.

El sostenimiento se bajará siempre hasta el fondo, en contacto con el terreno natural, tanto en avance como en destroza.



Se asegurará la continuidad del sostenimiento entre avance y destroza, para lo cual se solaparán las cerchas, se solaparán el mallazo y hormigón proyectado en una anchura de 0,7m a 1 m, sobre la junta previamente preparada en el avance.

5.1.3 Precauciones especiales

Para un avance determinado, se deberá acabar en el mismo turno toda capa de hormigón proyectado.

El turno que preceda a una interrupción de la obra de varias horas o días (fines de semana) deberá acabar en su totalidad, el sostenimiento del nuevo avance, según las definiciones establecidas.

Se considerarán faltas muy graves, la ejecución de pases o voladuras sin los sostenimientos previos especificados y el incumplimiento de lo señalado para detenciones prolongadas, pudiéndose exigir al contratista, la colocación de sostenimientos específicos para recuperar la estabilidad de las secciones afectadas, al margen de poder proceder a la recusación de los responsables de estas actuaciones.

5.1.4 Refuerzos

Al margen de los sostenimientos habituales que se coloquen en el frente, cuando un tramo de túnel ya construido presente problemas de estabilidad se procederá a reforzarlo aumentando la cuantía de los elementos del sostenimiento o con la colocación de nuevos elementos.

El criterio para la ejecución de estos refuerzos será el seguimiento técnico de la excavación y del sostenimiento de túnel y los datos de auscultación.



La parte de la sección que se haya de reforzar y la longitud del túnel afectado serán decididas por la dirección de obra.

5.2 Condiciones del proceso de ejecución

5.2.1 Bulones

Se emplearán bulones pasivos con anclaje expansivo (fricción), o bien, anclados con resinas, lechada o mortero de cemento, si se utilizan barras de acero corrugado.

Los bulones podrán ser eventualmente activos en algunos tramos del túnel si las condiciones así lo aconsejan, a criterio de la dirección de obra.

- *Bulones expansivos*: se emplearán bulones de expansión de tipo Swellex MN24 o similar (límite de rotura = 24.000kg). Este tipo de pernos expansivos consiste en un tubo de acero plegado que se expande en el barreno por medio del bombeo de agua a alta presión en su interior. Las placas de unión entre el bulón y el hormigón proyectado, el mallazo o la cercha se efectuará mediante una placa cuadrada de acero S-275-JR. Las placas estarán provistas de una rótula semiesférica que permita orientar el bulón oblicuamente en relación con la normal de la pared.
- *Barras de acero corrugado*: se utilizarán bulones con diámetros de 25 y 32 mm. Las barras serán de tipo armadura de acero corrugado y de límite elástico igual a 500N/mm². La extremidad del bulón se cortará a bisel y su cabeza estará roscada en un mínimo de 15cm de longitud. Las placas serán cuadradas de acero y con rótula semiesférica.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



El tipo de resina y de cartuchos a utilizar será aprobado previamente por la dirección de obra. El endurecimiento inicial de la resina se conseguirá en 15 minutos de la puesta en obra y su resistencia será suficiente para permitir el desenroscado de los adaptadores de la cabeza de bulones.

La perforación para la colocación de bulones se iniciará lo más pronto posible después de la excavación y después de la proyección de una primera capa de hormigón, eventualmente sobre acelerado, de unos 0,03 a 0,05 m de grosor (capa de sellado).

Para los bulones expansivos, el diámetro de perforación recomendado para el barreno es de 48mm.

El diámetro para los bulones de barra de acero excederá entre 4mm y 8mm el diámetro de la barra a colocar y la longitud de perforación será inferior en 10cm a la longitud del bulón a colocar.

La colocación de los bulones será la siguiente:

- Bulones expansivos. Una vez desengrasada y limpiada la barra, se adaptará al casquillo inferior del perno en un manguito del sistema de bombeo y se introducirá en el taladro. A continuación se accionará el circuito de mando de la bomba para inyectar agua a alta presión, hasta que el perno haya alcanzado una presión de 30MPa. Durante el proceso de aumento de volumen, el perno se adapta a las irregularidades del barreno, aumentando así la resistencia de la roca y consiguiendo un anclaje total de fricción y mecánico en toda la longitud del perno.
- Bulones de barra de acero. Para conseguir una buena mezcla de los componentes de la carga de resina, el espacio anular entre el bulón y la



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



pared de la perforación estará comprendido entre 2 y 4 mm. El volumen total de las cargas de resina introducidas será superior en un 10% al volumen del espacio anular. En terrenos que permitan una perforación regular, este valor se podrá reducir al 5%.

La colocación de bulones es una operación delicada. Las reglas esenciales a respetar son las siguientes:

- El tiempo transcurrido entre la perforación y la introducción de las cargas y el bulón será mínimo.
- Después de haber limpiado el agujero o haberse asegurado de que éste no presenta irregularidades, se introducirán las cargas de resina hasta el fondo del agujero.
- Para introducir el bulón en el agujero y conseguir una buena mezcla de los componentes de la carga de resina se procederá con empuje y rotación simultáneamente. Una vez alcanzado el fondo del agujero se continuará la rotación durante 15 segundos.
- La placa no tendrá que apretarse hasta que haya pasado una hora desde la colocación del bulón.
- Para los bulones cementados se utilizarán lechadas, con relación agua-cemento de 0,6 a 1. Eventualmente podrán emplearse cartuchos preparados de conglomerante.

Para asegurarse de la buena calidad de los bulones colocados en obra, se efectuarán los ensayos y controles siguientes:



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- Control de calidad de los materiales y en particular control constante del estado de conservación de las cargas de resina, que deberán llevar su fecha máxima de utilización.
- Control estadístico de la longitud libre (no anclada) del bulón en cabeza, mediante la introducción de un alambre. Se efectuará un control por cada 10 bulones colocados. Esta longitud no será nunca superior a 20m en bulones de cualquier longitud.
- Ensayos de tracción de bulones colocados normalmente mediante un gato hueco que permita ejercer una tracción sobre el bulón, apoyándose en la pared. Se efectuarán controles sobre, aproximadamente, el 5% de los bulones instalados con periodicidad de 1 a 3 días, escogiendo de modo aleatorio los pases a ensayar y los bulones dentro de este.

5.2.2 Mallazo

El mallazo constituye la armadura del hormigón proyectado. La dirección de obra podrá definir a lo largo de toda la obra la cantidad de mallazo a colocar, modificada de la reflejada en los planos, tanto en aplicación ordinaria como de refuerzo.

El mallazo será electrosoldado, de retícula y diámetros de alambre según se especifican en los sostenimientos tipo y planos correspondientes. Se utilizará acero de elevado límite elástico.

La distancia entre la malla de acero y la pared (terreno o capa de hormigón proyectado) estará comprendida entre 0,02 y 0,07m.

La última capa de mallazo del sostenimiento estará recubierta con un grueso mínimo de 0,03m de hormigón proyectado.



El número de puntos de sujeción de la malla a la pared será como mínimo de 2 por m².

El solapamiento entre dos capas de mallazo contiguas será de 0,2m o dos cuadrículas.

5.2.3 Fibras de acero

Su incorporación mejora las características resistentes del hormigón proyectado. Las fibras deben estar constituidas por acero de resistencia mínima a la tracción 1.000N/mm².

La dosificación debe ser tal que se consiga una distribución uniforme de las fibras en la mezcla, sin que se formen apelotonamientos, así como una puesta en obra idónea, y dependerá del diámetro D (entre 0,45 y 0,60 mm) y longitud L (entre 0,03 y 0,04 m) de las fibras, en una relación LID que no debe ser inferior a 45.

5.2.4 Cerchas

Algunas secciones incluyen cerchas de tipo TH o HEB como elementos de sostenimiento y rigidización de la sección.

El doblado de las cerchas vendrá efectuado de fábrica ajustándose a la forma y perímetro de la sección y se suministrarán despiezadas en tramos que permitan su correcta manipulación.

- *Cerchas TH*: Las cerchas serán de tipo deslizante, fabricadas con acero tipo 31Mn4 (UNE-EN 10027-1-2, y circular informativa ECISS IC 10 (CR1260)) de límite elástico no inferior a 355N/mm². Sus distintas



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



piezas vendrán preparadas para su unión con solapes mínimos de 0,40m.

En las uniones se utilizarán grapas tipo horquilla o abarcones.

El arrostramiento longitudinal de las cerchas se realizará mediante tresillones constituidos por redondos de acero de diámetro 0,032 m soldados a las cerchas.

- *Cerchas HEB*: Estarán fabricadas con acero S 275JR. Las uniones de los distintos elementos se realizarán mediante placas transversales y pernos roscados que proporcionan una estructura rígida. En los extremos o patas de la cercha se incorporan placas de apoyo. Como mínimo se dispondrán placas de 0,25 x 0,25 m (alineadas en el perfil exterior) con 0,010 m de espesor.

El arriostamiento longitudinal de las cerchas se realizará mediante tresillones constituidos por redondos de acero de 0,032 m, soldados a las cerchas, o perfiles laminados de pequeña sección.

En la colocación de las cerchas se cuidará especialmente la correcta ubicación geométrica del perfil dentro de la sección.

Los huecos existentes entre las cerchas y el terreno o capa de sellado se rellenarán con hormigón proyectado.

Todas las uniones entre piezas de una misma cercha de tipo deslizante se realizarán con dos grapas que se situarán en los extremos de la zona de solape.

Los tresillones o barras de arriostamiento longitudinal se colocarán cada 1,3m a lo largo del desarrollo de la cercha. Este arriostamiento facilitará la estabilidad de la cercha en la fase de colocación, antes de la proyección de la capa de hormigón que recubrirá la cercha.



Durante la proyección del hormigón se evitarán los vacíos detrás de las cerchas, mediante una proyección oblicua.

Las cerchas deberán quedar recubiertas con un grosor mínimo de 0,03m de hormigón proyectado.

5.2.5 Hormigón proyectado

Las características básicas del hormigón proyectado a utilizar en la presente obras son las siguientes:

- Hormigón proyectado por vía húmeda, flujo denso.
- Resistencia característica a 28 días, 30N/mm².
- Proyección mecanizada.
- Aditivos: fluidificantes, inhibidores, retardadores, acelerantes, activadores y humo de sílice. Previa autorización de la dirección de obra, se incorporará a la mezcla fibras de acero.

Todos los materiales constitutivos del hormigón deberán ser aprobados por la dirección de obra a propuesta del contratista.

- Cemento: Se ajustará al vigente pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC-03). Se empleará el cemento tipo CEM II-42,5.
- Agua: Cumplirá en cuanto a su idoneidad química y contenido de residuos orgánicos lo establecido en la Instrucción de hormigón estructural EHE-98.
- Áridos: Las características de los áridos se ajustarán a las especificaciones de carácter general de la instrucción EHE-98.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



El tamaño máximo del árido será de 0,012 m, y las curvas granulométricas se ajustarán al huso elegido para la dosificación.

- Humo de sílice: Habida cuenta de los efectos beneficiosos que el humo de sílice produce sobre la durabilidad y permeabilidad del hormigón, se establece el uso continuado de este aditivo en un porcentaje de 35 kg/m³ (aprox. 7-8% respecto al peso del cemento).
- Aditivos: utilización de acelerantes, inhibidores, fluidificantes, activadores, etc., necesarios para la colocación de hormigón proyectado. Estos se ajustarán a las prescripciones de la instrucción EHE-98.

Los aditivos a utilizar deberán ser compatibles con el cemento, áridos y humo de sílice. No serán corrosivos a las armaduras, dañinos para la salud, ni afectar a la durabilidad de las obras, además de cumplir con los requisitos mínimos exigidos en cuanto a los controles de calidad ejecutados en obra.

La proporción óptima de los aditivos se obtendrá sobre la pauta de las recomendaciones del fabricante en los ensayos previos.

La consistencia del hormigón fresco se medirá al vertido de la cuba en el momento de su puesta en obra mediante el Cono de Abrams (UNE 83-313-90), aceptándose valores de asiento entre 0,1 - 0,15m.



Para el hormigón endurecido se evaluarán las propiedades que se muestran en la tabla 7:

Tabla 7. Resistencia a compresión

EDAD (días)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (N/mm ²)	
	MEDIA	MÍNIMA
1	9	7,5
3	13	11,0
7	20	17,0
28	30	25,0
90	30	25,0

- Módulo de elasticidad, $E = 27.000\text{--}30.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de permeabilidad, $C = 6 \times 10^{-10}$ a $20 \times 10^{-10} \text{ m/s}$. La dosificación de referencia que se tomará para cada material será la siguiente:
 - Cemento (CEM 11-42,5): 475 kg/m^3
 - Áridos 015 l: 144 kg/m^3
 - Áridos 5/12: 491 kg/m^3
 - Agua: 190 kg/m^3
 - Relación a/c: 0,4
 - Humo de sílice: 35 kg/m^3



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



La proyección del hormigón se efectuará mediante equipos automatizados (robots). El contratista adoptará las medidas pertinentes para asegurar la continuidad del suministro del hormigón durante el proceso de hormigonado.

Los equipos se mantendrán permanentemente en condiciones óptimas de funcionamiento. Su rendimiento mínimo será de 0,018 m³/s.

La distancia de proyección será de 1m, mantenida de modo regular, con proyección perpendicular a las paredes de la excavación, excepto en el caso de sostenimientos con cerchas en que se utilizará una proyección oblicua para el correcto llenado en el trasdós de las mismas. Antes de cada aplicación, y en el caso de macizos rocosos, habrá de limpiarse con agua o aire a presión toda la superficie a proyectar.

El grueso máximo de una capa de hormigón ejecutada en una sola fase no podrá exceder de 0,010m.

La calidad del hormigón proyectado se controlará permanentemente durante la ejecución de la obra.

El tipo de control se extenderá desde los materiales hasta la calidad y el espesor de los hormigones ejecutados.

Se llevará un control periódico de la calidad de los áridos en la planta de hormigonado.

Las características de resistencia de los hormigones se controlarán mediante muestras en tajos ordinarios de gunita del túnel.

Las resistencias obtenidas habrán de ser superiores o iguales a las exigidas y en caso de que se observen resultados inferiores, la dirección de obra tomará las medidas oportunas, como la ejecución de sostenimientos adicionales, no abonables, en todo el



tramo que se considere afectado, además de ordenar la comprobación y cambios de las dosificaciones en planta y obra para recuperar las resistencias exigidas.

El control de los espesores reales de gunita colocados en el túnel se llevará a cabo, independientemente para las fases de avance y destroza, mediante la obtención de testigos del sostenimiento recogidos de forma aleatoria dentro del mismo, a razón de 1 testigo cada 5m de túnel.

5.2.6 Paraguas de micropilotes

❖ Paraguas con bulones autoportantes

Este tipo de micropilotes fue diseñado con el fin de facilitar la perforación en los terrenos más difíciles: terrenos disgregados y poco consolidados, tipo arenas y gravas. El sistema autopercutor es autoinyectante para estabilizar las perforaciones.

Está formado por barras de acero huecas roscadas que al mismo tiempo sirven como barrena de perforación perdida, armadura y tubo de inyección, por donde circula la lechada; y una boca perdida de perforación. Sus componentes son:

- Tubo de acero laminado en frío de 0,040m de diámetro exterior y 0,016m de diámetro interior, roscado en toda su longitud, en tramos de 3m., para una carga de servicio de 30.000kg (carga de rotura de 660kN y 525kN en el límite elástico).
- Boca de perforación perdida de 70 a 110mm de diámetro dependiendo del terreno.
- Manguitos de unión roscados con junta y tope central.
- Cabeza de anclaje constituida por placa de asiento, disco acuñado y tuerca semiesférica.



La inyección es simultánea a la perforación con el fin de impedir el colapso del taladro y consiguiendo un mayor rendimiento.

❖ **Paraguas con tubos o barras de acero**

Consiste en la introducción en el terreno de una serie de tubos o barras metálicos, próximos entre sí, y dispuestos paralelamente al perfil de excavación.

Se emplearán tubos de acero ST-52 de 0,1016m de diámetro exterior y 0,10m de espesor de chapa, o bien, barras de acero corrugado B 500 S y 32mm de diámetro.

La perforación tendrá un diámetro mínimo de 0,150m.

6. Inyección del trasdós del revestimiento del túnel

6.1 Definición y condiciones generales

Con este nombre se designan aquellas inyecciones que se introducirán para el llenado de las cavidades que hubieran quedado entre el arco de hormigón de revestimiento y la superficie exterior (roca o sostenimiento).

En principio esta inyección se hará con mortero o lechadas densas, siendo decisión de la dirección de obra la utilización de otro material para el relleno.

las zonas a inyectar serán determinadas por la dirección de obra a partir del seguimiento de la ejecución.

6.2 Condiciones del proceso de ejecución

Para la inyección de relleno se deberá ajustar la bomba hasta una presión máxima de 70kPa en la boquilla, permitiendo inyectar cemento y arena hasta un tamaño máximo de 3mm.



Una vez acabadas las inyecciones de relleno o contacto, la dirección de obra podrá exigir la realización de pruebas hidráulicas entre los taladros de inyección.

7. Revestimiento de túneles

7.1 Definición y condiciones generales

Se denomina revestimiento al anillo de hormigón encofrado que, colocado en todo el perímetro de hastiales y bóveda, sirve como terminación definitiva del túnel para la fase de explotación. También es de aplicación para las bóvedas de los túneles artificiales, que al igual que el anillo de hormigón del túnel en mina, incluye fibras de polipropileno en su dosificación para mejorar su resistencia al fuego.

A este revestimiento no se le exigen en principio funciones resistentes.

Se alcanzará el espesor mínimo definido en planos, en cualquiera de sus puntos. Según las fases de hormigonado del revestimiento previstas, se ejecutarán en primer lugar los denominados muretes de pie o muretes guía, como arranque de hastiales y directamente apoyados sobre la solera o integrados en ella. Sobre ellos se hormigonará el revestimiento propiamente dicho cuya cara interior constituirá el paramento visto de la sección del túnel.

El hormigonado del revestimiento se hará por módulos utilizando un encofrado que permita obtener un paramento interior del túnel liso y bien acabado con arreglo a los cometidos funcionales que se le encomiendan.

Como características generales del hormigón y de la ejecución del revestimiento del túnel deben ser reseñadas las siguientes:



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- La necesidad de desencofrar a corto plazo obliga a una gran regularidad de fabricación, requiriéndose una calidad constante de los componentes y una buena maquinaria de fabricación.
- El transporte entre la planta y el túnel debe ser particularmente cuidadoso, evitando segregaciones y pérdidas de agua por evaporación.
- Es indispensable un buen vibrado del hormigón para rellenar huecos y mejorar la compacidad, que está íntimamente ligada a la estanqueidad y a la resistencia a la agresividad de las aguas.
- El revestimiento debe ser lo más impermeable posible y resistente a las aguas agresivas que puedan existir en las zonas donde se coloque.
- La resistencia inicial debe ser elevada.

Todos los componentes del hormigón deberán satisfacer las condiciones que se fijan en la vigente instrucción de hormigón estructural EHE-98 y en el pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos RC-03.

Los materiales a utilizar en el hormigón de revestimiento cumplirán las siguientes condiciones:

- Cementos: Los cementos a utilizar serán del tipo CEM 1-42,5.
- Agua: El agua de amasado deberá estar libre de materia orgánica, partículas en suspensión, sustancias químicas (sulfatos, cloruros, etc.) y cumplirá lo exigido en la instrucción EHE-98.
- Áridos: Provenirán de rocas estables, es decir, inalterables al aire, al agua y al hielo, no debiendo ser activos frente al cemento.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Los áridos serán químicamente limpios sin sulfuros ni sulfatos. El porcentaje de finos en las arenas tendrá un valor máximo de 10% pasando por el tamiz de $1,6 \times 10^{-3}$ mm.

El peso específico será superior a 2.550 kg/m^3 , con lo que se trata de eliminar los áridos porosos.

La curva granulométrica de los áridos será regular no sobrepasando tamaños máximos de 0,40mm sin previa autorización de la dirección de obra.

- Aditivos: el contratista propondrá a la dirección de obra los aditivos que piensa utilizar en el hormigón de revestimiento.

Los aditivos deberán ser dosificados con una instalación automática añadiéndose al agua antes de introducirla en la mezcla.

- Fibra de polipropileno: con el fin de aumentar la resistencia al fuego del hormigón de revestimiento, se adicionará fibra de polipropileno en una cuantía de dos kilogramos por metro cúbico de hormigón.

El hormigón que constituye el revestimiento tendrá una resistencia característica a compresión a 28 días de 30 N/mm^2 .

La consistencia del hormigón estará comprendida entre 0,06 y 0,10m medidos como descenso del cono de Abrams.

Para poder desencofrar el hormigón de revestimiento deberá haberse alcanzado una resistencia característica a compresión de $12,5 \text{ N/mm}^2$ o, en todo caso, la necesaria para soportar su peso propio, con un coeficiente de seguridad de 1,25.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Como características generales, el hormigón deberá reunir las siguientes condiciones, principalmente:

- Buena consistencia y docilidad.
- Contenido de finos suficientes. Entre el 15 y 20% pasará al tamiz $3,15 \times 10^{-6} \text{m}$.
- Buen contacto entre áridos y cemento.
- Vibración (tanto interna como externa) intensa para conseguir una densidad del hormigón fresco al menos del 95% teórica.

Los encofrados a utilizar serán metálicos, constituyendo lo que se denominará carro de encofrado.

El carro estará constituido por una superficie de encofrado coincidente con el perfil de intradós del túnel y una estructura portante movable.

En los elementos específicos de encofrado (superficies de encofrado) se dejarán aberturas o ventanas de vertido del hormigón, vibrado o inspección visual.

Antes del hormigonado todos los encofrados se deberán limpiar cuidadosamente, evitando golpes que dejen señales o abolladuras en la superficie de encofrado.

Para el cierre frontal del carro de hormigonado se utilizará un sistema a base de planchas o tablonos acuñados, o cualquier otro que garantice el tape estanco hasta la roca o el sostenimiento.

El carro de encofrado circulará sobre carriles de rodadura bien apoyados sobre la solera y nivelados en coronación a igual cota ambos, siendo constante su valor relativo respecto a la cota del eje de replanteo.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Previo al hormigonado del túnel se pasará un carro de gálibo que asegure el espesor mínimo de 0,30m del revestimiento. La existencia de puntos aislados o generales que impidan dicho espesor en todo el perímetro a revestir dará lugar a su rectificación y picado.

No se podrá hormigonar el revestimiento en zonas con agua sin haber obtenido autorización explícita de la dirección de obra.

El hormigonado se deberá llevar a cabo dentro de un turno de trabajo desde el arranque de hastiales hasta el punto más alto de la bóveda.

Por regla general, el hormigón se colocará en módulos individuales avanzando dentro del túnel en módulos consecutivos, hormigonando contra el módulo anterior y efectuando un tape en el otro extremo del encofrado.

Tras el llenado de cada tongada de hormigón se compactará por vibración; para ello se utilizarán simultáneamente vibradores de masa y de superficie. El número de vibradores, sus características y potencia serán los adecuados para proceder a un buen vibrado del hormigón que se coloque.

La frecuencia de los vibradores de superficie estará comprendida entre 6.000 y 10.000HZ con lo que se compactará una capa del orden de los 0,20m próximos al encofrado.

Tras el desencofrado de cada módulo que se realizará una vez alcanzada la resistencia anteriormente definida, se procederá a su curado regando con agua la superficie desencofrada.

Durante la ejecución del revestimiento la dirección de obra podrá disponer la comprobación continua del cemento y de los áridos.



La dirección de obra podrá realizar todos los ensayos que considere oportunos sobre el hormigón puesto en obra por medio de extracción de testigos para su rotura.

El control de calidad del hormigón de revestimiento se ajustará a lo especificado en la instrucción EHE-98.

7.2 Elementos complementarios del revestimiento de túneles en mina y túneles artificiales

Las aceras de los túneles en mina y de los túneles artificiales se construirán con hormigón HM-20 encofrado.

En las salidas de los túneles artificiales, las aceras terminan en una escalera para que los peatones puedan acceder a la plataforma exterior.

8. Impermeabilización y drenaje del túnel

8.1 Definición y condiciones generales

La impermeabilización tiene por finalidad captar y conducir las filtraciones importantes hasta los conductos de drenaje, eliminar goteos difusos que deterioren los revestimientos y evitar la formación de agujas de hielo en los tramos próximos a los emboquilles.

La impermeabilización prevista estará colocada entre el sostenimiento y el revestimiento. Terminará en los muretes de pie del sostenimiento definitivo.

La impermeabilización comprenderá dos fases diferenciadas:

- Impermeabilización primaria: consistente en la captación directa de filtraciones importantes, y su canalización hasta los conductos drenaje.



- Impermeabilización principal: destinada a la captación de filtraciones y goteos diseminados, mediante la colocación de láminas de polímeros termoplásticos, cubriendo la totalidad de la sección, conduciendo el agua a los drenes laterales.

8.2 Condiciones del proceso de ejecución

Impermeabilización primaria:

Consiste en la colocación de canalizaciones que se colocarán preferentemente como prolongación de las ya existentes.

Sistemas aceptados serán:

- Canales de drenaje preformados, flexibles.
- Medias cañas con sujeción mediante morteros de fraguado rápido.
- Medias cañas con soporte mecánico.
- Láminas de plástico rígido preformado.

La sección mínima de los conductos de drenaje será de 15cm², salvo indicación en contrario de la dirección de obra.

Impermeabilización principal:

Consistirá en la colocación de láminas plásticas cubriendo la totalidad de la sección en aquellas zonas donde existe agua en forma de goteos generalizados y no sea posible o viable captarla por el procedimiento antes mencionado.

El recubrimiento realizado será doble, mediante lámina porosa de protección y captación de filtraciones, situada en contacto con el sostenimiento y la lámina de impermeabilización.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Las láminas quedarán ocultas entre los sostenimientos provisionales y el revestimiento definitivo.

Las láminas de impermeabilización, serán de tipo sintético, cloruro de polivinilo (P.V.C.) o polietileno, soldables por termofusión, de 1,5-2mm de espesor con una densidad del orden de 2kg/m².

Las láminas de protección serán tipo geotextil poroso y permeable con gramaje mínimo de 500g/m².

Previamente a la colocación de las láminas, se examinará toda la sección a tratar eliminando todo elemento saliente susceptible de producir perforación.

En las zonas de borde de las áreas impermeabilizadas, los clavos se situarán a una distancia de 50cm, mientras que en el resto de la sección los clavos se utilizarán con una densidad de 4 a 6 unidades por m² en la clave del túnel y de 2-4 en el resto.

El solapamiento entre láminas de alta densidad será de 10cm, debiendo quedar soldada toda la superficie, si la soldadura es manual. En todo momento se evitará la formación de arrugas al soldar.

Todo elemento o instalación previa que deba ser salvada y que implique el corte o perforación de la lámina, deberá ser convenientemente sellada, mediante parches termosoldados del mismo material.

Todos los tramos donde se instalen las láminas impermeabilizantes llevarán dren de trasdós construido sobre el murete de pie del revestimiento definitivo, con conexiones a los conductos de evacuación al dren principal, que se incorporarán y cruzarán esta estructura a distancias regulares de 25m.



El dren de trasdós estará constituido por tubería dren de P.V.C. con recubrimiento de gravilla hasta la lámina impermeabilizante y el conducto de conexión con el sistema de drenaje principal será de tubería lisa de P.V.C., ambos de 110mm de diámetro.

- Drenaje principal longitudinal de tardos: En ambas aceras se situarán tubos de hormigón vibropresado de 350mm de diámetro en módulos machihembrados que recogerán el agua procedente del trasdós del túnel y lo conducirán hasta la boca del túnel. Se colocarán arquetas de registro cada 25 metros.
- Drenaje longitudinal de plataforma: Estará compuesto por un haz de ranuras y cuneta inferior circular de hormigón armado y un tubo de sección circular de 300mm de diámetro fabricado en hormigón vibropresado. Se situarán arquetas sifónicas cada 50 metros.
- Depósito de vertidos: es una estructura de hormigón armado donde se tratarán las aguas que llevan residuos no permitidos.

9. Tratamientos especiales

9.1 Definición y condiciones generales

Posibles tratamientos preventivos o de consolidación posterior que se efectúen en el túnel, con el fin de garantizar la estabilidad de la excavación, mejorar las características mecánicas de los terrenos atravesados o para prevenir o tratar posibles desprendimientos.



Al no estar previstos en las secciones tipo de sostenimiento, los tratamientos especiales se decidirán a demanda o con el acuerdo previo con la dirección de obra.

9.2 Condiciones del proceso de ejecución

9.2.1 Micropilotes para formación de paraguas en el frente de excavación.

Se seguirán las prescripciones establecidas en los artículos "excavaciones en túnel" y "sostenimiento en túnel", para la ejecución de micropilotes. Las secciones de los elementos metálicos serán las adecuadas a la longitud del pase y a la naturaleza del terreno.

9.2.2 Inyección de lechada de cemento o mortero

La finalidad de las inyecciones puede ser:

- Relleno de cavidades.
- Mejora de las condiciones resistentes o de la deformabilidad del medio tratado.
- Disminución de la permeabilidad o reducción de la afluencia de agua al túnel.

La autorización de la D.O. para la realización de inyecciones del terreno en el túnel, requiere la presentación previa por el contratista, de un estudio de ejecución detallando:



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Materiales a mezclar e inyectar y dosificaciones:

- Material básico: lechada de cemento, mortero de cemento y arena, productos químicos.
- Productos minerales de adición.
- Materiales térreos: arcillas y limos.
- Aditivos químicos, para aumentar la penetrabilidad de la mezcla y disminuir la retracción de fraguado.

Procedimiento de inyección:

- Método de inyección de los taladros: en toda su longitud, por tramos en sentido ascendente o descendente, mediante tubos-manguito.
- Maquinaria y equipos a emplear: tipo de bomba, mezcladora de alta turbulencia en todo caso. Obturadores, artilugios para circulación continua dentro del taladro, manómetros ordinarios y registradores.

Presiones de inyección:

- Fijación de las presiones de inyección máximas admisibles en las distintas zonas y profundidades del terreno en función de la naturaleza, estructura, orientación de diaclasas y finalidad del tratamiento.
- Procedimientos de control de las presiones. Manómetros simples, manómetros registradores.
- Observación de las fugas o resurgencias de inyección.

Salvo autorización de la dirección de obra la perforación en roca se realizará por percusión o roto-percusión, mientras que en suelos se hará a rotación.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Todos los taladros, antes de ser inyectados, serán lavados con agua y aire a presión, con el fin de eliminar el detritus de la perforación y los materiales finos contenidos en las fisuras y oquedades del terreno, que puedan ser arrastrados por el simple efecto del agua y aire. La presión de lavado no será superior a la máxima admitida para la inyección.

Mientras se realizan las operaciones de lavado de los taladros individualmente o por grupos de taladros, se mantendrán perforados y abiertos los taladros próximos para dar fácil salida al agua sucia y evitar someter al terreno a presiones intersticiales en zonas extensas.

9.2.3 Bulonado del frente

Esta medida de estabilización del frente consiste en la colocación de bulones de fibra de vidrio en el mismo, con objeto de confinar el material situado por delante del frente de excavación del túnel.

El bulonado del frente se efectuará exclusivamente con bulones de fibra de vidrio. El anclaje se logrará mediante inyección de mortero. El bulón estará conformado por tres tiras de fibra de vidrio montadas sobre un bastidor de polietileno. Las tiras de fibra tendrán sección rectangular, 55mm de ancho y 8,5mm de espesor. El conjunto alcanzará una resistencia a tracción de al menos 1.400kN.

10. Control, auscultación y seguimiento del túnel

10.1 Definición y condiciones generales

Operaciones necesarias para el seguimiento y control de las obras de los túneles; de forma que puedan ajustarse las definiciones del proyecto a las necesidades reales del



terreno, correspondiendo al contratista la realización de las medidas de control y auscultación, y a la D.O. el seguimiento y comprobación de las mismas.

10.2 Condiciones del proceso de ejecución

Antes del inicio de los trabajos el contratista deberá proponer a la dirección de obra para su aprobación, el plan de control geométrico que llevará a cabo durante la ejecución del túnel.

10.2.1 Topografía de interior

Consistirá en la implantación de las bases topográficas en el interior de los túneles durante las distintas fases de su ejecución para la correcta ejecución de los apoyos topográficos al frente.

10.2.2 Control de secciones transversales, gálibos y soleras

Salvo indicación en contrario, será el contratista el responsable de la ejecución de las secciones transversales de comprobación de la sección libre dejada por los sostenimientos y del control de la posible existencia de sobreexcavaciones en solera.

En el plan de control aceptado por la dirección de obra se definirá el número de puntos que tendrá cada perfil.

Estas actuaciones servirán para determinar la idoneidad de los sistemas de replanteo efectuados y para realizar en su caso, las oportunas correcciones.

10.2.3 Otros controles y mantenimientos rutinarios

Consistirán en la determinación del P.K. del frente en cada pase de avance y destroza con la toma de dos medidas a cada lado de la excavación y la colocación y



mantenimiento de referencias visibles con el P.K., en cada 10m de distancia, en ambos hastiales y clave del túnel.

La dirección de obra podrá disponer de cuantas informaciones requiriese relativas al control topográfico que se realiza en el túnel.

10.2.4 Medidas de convergencia, extensométricas y de presión

A lo largo de la ejecución de los túneles se llevarán medidas sistemáticas de la deformación en las paredes de la excavación con especial atención a la deformación de las zonas altas de la misma.

Para ello, una vez finalizada la colocación de todos los elementos de sostenimiento, el personal del contratista colocará los perceptivos pernos de convergencia, con referencias ocultas tras pequeñas irregularidades para preservarlos de daños en las sucesivas voladuras.

En las secciones de convergencia los trabajos de medida se realizarán sin afectar a los trabajos del frente en las mismas fases de la excavación señaladas en el caso anterior.

Previamente o al inicio de las obras la dirección de obra y el contratista deberán analizar las necesidades específicas para estas prestaciones y su evolución temporal, fijando los programas antes mencionados, debiendo prever el contratista la incorporación de los medios auxiliares necesarios para la correcta realización de los trabajos de acuerdo a lo señalado en el presente pliego.



Si el plan de auscultación del proyecto prevé la instalación de extensómetros y células de presión, el contratista viene obligado a suministrar e instalar los citados aparatos de medición en aquellos puntos que indique la dirección de obra.

10.2.5 Realización de medidas

Medidas mediante extensómetros: Se utilizarán extensómetros de varillas, de precisión no inferior a 0,0 mm.

Los extensómetros se colocarán en los puntos indicados en el proyecto, y además, en zonas especialmente conflictivas desde el punto de vista del terreno. Los puntos de anclaje de cada varilla serán igualmente los señalados en el proyecto.

Como norma general, la distancia mínima entre el extensómetro y el frente de excavación en el momento de la instalación será de 30m. No deberán transcurrir más de 3 días desde el momento de la excavación hasta el momento de la primera lectura.

La instalación se efectuará del siguiente modo: en primer lugar se efectuará una perforación del diámetro suficiente para albergar las varillas previstas.

Posteriormente se introducirán éstas en el taladro, protegidas con un tubo de PVC que las permite desplazarse libremente en la dirección de su eje, salvo en el extremo, donde irán soldadas a un trozo de acero corrugado.

Se procederá a inyectar el taladro con lechada de cemento y por último se instalará la cabeza del extensómetro, procediéndose a realizar la lectura inicial. Se recomienda la lectura eléctrica centralizada mediante potenciómetro, cuerda vibrante o cualquier otro método similar.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Las deformaciones en los extensómetros de exterior comenzarán a medirse cuando el frente de excavación se encuentre al menos a una distancia igual a 30m, en los extensómetros de interior se comenzarán inmediatamente tras su instalación. Se realizarán medidas cada dos días hasta que el frente se aleje de la sección de control un mínimo de 30m, o más, si la lectura no se estabiliza. Posteriormente se efectuarán medidas semanales hasta su estabilización, y cada mes en el resto de la obra.

El personal de instrumentación responsable de la instalación, pruebas, vigilancia y toma de lecturas y registros de los instrumentos, deberá ser personal cualificado y con experiencia en el campo de la instrumentación para túneles, a satisfacción de la D.O.

Con anterioridad al comienzo de las obras, el contratista deberá presentar a la D.O. el método y un programa preliminar que se adoptará para la instalación de los instrumentos.

Medidas de convergencia: Para la medida de la convergencia se utilizará la cinta extensométrica de invar con dispositivo de tensionado automático, con un rango de 0 a 20m y una precisión de 0,05mm.

Como dispositivo de lectura es aconsejable el calibre de cuadrante.

Las secciones de convergencia se colocarán en principio según lo dispuesto en el proyecto. En zonas especialmente conflictivas desde el punto de vista del terreno o debido a entronques, intersecciones, ensanches, etc., no previstos, y con autorización de la D.O., se podrán instalar al comienzo de las obras de construcción de los túneles secciones adicionales. En ningún caso se instalarán un menor número de secciones que las estipuladas en el proyecto, salvo expreso deseo de la D.O.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



A menos que la D.O. disponga otra cosa, cada una de las secciones de medida estará formada por 5 pernos de convergencia rígidamente unidos a la roca o al hormigón proyectado. Los pernos serán tipo argolla. Los pernos se situarán: uno en clave, dos en la base de los hastiales de la sección de avance y los otros dos en la base de los hastiales de la sección completa. La distancia mínima entre la solera y el punto de medida será de 150cm.

Los clavos se deben colocar lo más rápidamente posible tras la excavación, y como máximo a las 24 horas del paso del frente de excavación por la respectiva sección. En el momento de la instalación de los pernos se efectuará una lectura, que se establecerá como el origen de las medidas.

Las medidas a realizar serán: cuerda horizontal (H) entre los puntos situados en la base de la sección de avance y en la base de la sección de destroza, diagonales entre éstos y el punto de clave y asiento en clave (F) del punto de clave, medido por medios topográficos.

La distribución de medidas a realizar en el tiempo dependerá de la calidad del terreno, de la velocidad de deformación y de la magnitud de ésta, así como de las operaciones a realizar en el túnel.

Todos los instrumentos y accesorios necesarios para el estudio de las convergencias deberán ser suministrados por el contratista.

Los instrumentos empleados en la medida de convergencias, deberán ser probados durante el proceso de instalación.

- Células de presión: El rango de presiones será de 3MPa para las células radiales y de 30MPa para las transversales. La precisión en todo caso



será como mínimo de 1%. Es recomendable instalar un sistema de medición a distancia mediante cuerda vibrante y centralita de lectura.

La colocación de las células habrá de ser lo más cuidada posible, pues defectos en su instalación generarán importantes errores en las tensiones suministradas por la célula.

La distribución de medidas a realizar en el tiempo dependerá de la calidad del terreno, de la velocidad de deformación y de la magnitud de ésta, así como de las operaciones a realizar en el túnel. En principio y salvo otra indicación de la D.O., se realizarán medidas cada dos días hasta la estabilización de la curva de deformación-tiempo y, a partir de dicho momento, mediciones mensuales de comprobación.

Las células de presión se colocarán en los puntos indicados en el proyecto. Generalmente se colocará tres parejas de células transversal/radial, una en clave y dos en hombros a cada lado.

Todos los instrumentos deberán ser fijados de manera firme y cuidadosa, debiendo ser protegidos para asegurarse de que no reciban daño alguno durante el transcurso de estas operaciones.

10.2.6 Ayudas a la auscultación y seguimiento técnico

La auscultación y el seguimiento técnico comprende todas las labores a realizar por la Dirección de Obra que permitan en todo momento el conocimiento de la situación del túnel en cuanto a características de los terrenos atravesados, idoneidad de los sistemas de excavación y comportamiento de los sostenimientos colocados; así como respecto al control de la calidad de excavación y los sostenimientos que se ejecutan.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Estos trabajos son imprescindibles para que la obra pueda realizarse con las mínimas condiciones de garantía, economía y calidad.

En la toma de datos, el contratista deberá colaborar con los medios de ayuda humanos y materiales que se le requieran y admitir los entorpecimientos que puedan causar en la marcha de la obra.

10.2.7 Análisis y valoración de la calidad geotécnica de los terrenos atravesados

El delegado de la dirección de obra dispondrá de 15 minutos por cada pase de avance para el estudio de la litología, estructura y calidad de los terrenos, a fin de determinar la continuidad o modificación de los sostenimientos.

El momento óptimo para esta operación es el final del desescombros y previamente a la colocación de la capa de sellado.

Periódicamente, con la frecuencia y en los casos que indique la D.O., se tomarán fotografías digitalizadas del frente de avance.

10.2.8 Control de calidad del bulonado

Este tipo de control se llevará a cabo en labores ordinarias de ejecución del bulonado, interrumpiendo éste en los pases aleatoriamente seleccionados.

El contratista estará obligado a prestar los medios mecánicos necesarios durante todo el tiempo que duren los controles y ensayos, de acuerdo a lo establecido en su momento por la dirección de obra en el presente pliego.



10.2.9 Control de calidad del hormigón proyectado

Se llevará a cabo en labores rutinarias de gunitado en obra, interrumpiendo ésta para la toma de datos de consistencia del hormigón en cuba y el llenado de las probetas de ensayo.

El contratista cuidará de la conservación e inmovilización de las probetas durante el tiempo que tarden en adquirir consistencia suficiente para su traslado, facilitando después los medios para su transporte hasta la boca del túnel transcurrido el tiempo citado.

11. Puesta a tierra de elementos metálicos y armaduras en túneles

11.1 Definición y condiciones generales

La puesta a tierra de las armaduras, pasamanos y todos los elementos metálicos del túnel Ferroviario de Santa Marina, tiene por objeto proteger a las personas e instalaciones de los efectos derivados de la diferencia de potencial causados por el propio sistema de tracción eléctrica en condiciones normales y en condiciones anormales (fallos, cortocircuitos, etc.).

Todos los elementos metálicos (incluyendo señales, pasamanos, etc.), deben ponerse a tierra a través del sistema global que se describe.

Los cables para las conexiones a tierra deben ser, en todos los casos, resistentes a las intensidades de cortocircuito.



11.2 Condiciones del proceso de ejecución

La armadura del túnel en la que se colocan las vías debe tener el potencial de la toma de tierra ferroviaria. Al objeto de conseguir una conexión eléctrica a lo largo del túnel, las barras no pretensadas de la armadura se unirán longitudinalmente.

También se conectarán a las barras longitudinales no pretensadas las mallas de acero empleadas en la construcción del túnel, con el mismo fin de tener continuidad eléctrica. De esta "jaula" se sacarán terminales, cada 50m en ambos lados de las vías, para su conexión al sistema de puesta a tierra que se describe a continuación.

En la fase de montaje de electrificación, se instalará en el túnel para cada vía, longitudinalmente, un cable de retorno de corriente y puesta a tierra, montado sobre los soportes de catenaria. Cada 450m a lo largo del túnel se realizará una puesta en paralelo de los cables de retorno, con cable aislado de sección de Cu de 50mm², a la que se unirán dichos cables de retorno y se conectará a los carriles exteriores.

Como medida de seguridad adicional hay que procurar que, en el caso de rotura de catenaria, se produzca un cortocircuito que provoque la desconexión del sistema. Con este fin y teniendo en cuenta la sección a proteger, en los túneles se deberán tender preferentemente cables de cobre de 50mm² sobre el revestimiento del hormigón, uno a cada lado de la vía.

El cable de la puesta en paralelo se conectará al cable de protección. Asimismo, los terminales de la armadura, colocados cada 50 metros, se conectarán mediante lazos de conexión en la fase de construcción del túnel al cable de cobre de protección. En la fase de montaje de la electrificación, se conectarán a los carriles exteriores.



En el túnel hay que conectar al sistema de puesta a tierra o bien al cable de retorno todos los puntos de soporte de la catenaria, las columnas colgantes, soportes y los componentes de fijación para el equipo de compensación automática. Cualquier otro elemento metálico situado en el túnel, se conectará al carril, bien directamente o a través del cable de retorno.

12. Integración ambiental: extendido de tierra vegetal

12.1 Condiciones generales

Consiste en las operaciones necesarias para el acopio, mantenimiento, suministro y colocación de la tierra vegetal o suelos asimilados, sobre los taludes de la explanación y cuantos lugares se han estimado en el proyecto para el acondicionamiento del terreno.

La ejecución de la unidad de obra incluye:

- Acopio de la tierra vegetal en caballones.
- Mantenimiento de la tierra vegetal.
- Aportación a la obra de tierra vegetal procedente de acopio.
- Extendido de la tierra vegetal.
- Tratamiento de la tierra vegetal, si es el caso.

Se entiende por tierra vegetal todo aquel material procedente de excavación cuya composición físico-química y granulométrica permita el establecimiento de una cobertura herbácea permanente (al menos inicialmente mediante las técnicas habituales de hidrosiembra) y sea susceptible de recolonización natural.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Debe tenerse en cuenta que, en términos generales, se pretende simplemente crear las condiciones adecuadas para que pueda penetrar la vegetación natural, cuyo material genético, para ello, se encuentra en las proximidades. Esta vegetación es la que tiene más posibilidades de resistir y permanecer en unos terrenos donde no son posibles los cuidados de mantenimiento.

La tierra vegetal procederá de los acopios realizados en obra durante la ejecución de la unidad de excavación.

12.2 Condiciones del proceso de ejecución

La tierra extraída se acopiará a lo largo de la traza y viales y en el entorno de las instalaciones auxiliares hasta su utilización en la restauración del tramo que se proyecta.

Se formarán caballones que tendrán una altura máxima de 2m, para evitar la excesiva compactación de la tierra vegetal en las capas inferiores.

Se evitará el paso de vehículos sobre ella. Para modelar la artesa se procurará no emplear maquinaria pesada que pueda compactar el suelo.

Una vez terminado el caballón, se procurará que no queden en la cara superior concavidades exageradas, que puedan retener el agua de lluvia y destruir la geometría buscada para los acopios.

Estos caballones se dispondrán sobre superficies planas para evitar la lixiviación de nutrientes y mantener así un grado de aireación que permita mantener los microorganismos y microfauna edáfica en actividad.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Las labores de mantenimiento de la tierra vegetal acopiada consisten en la siembra de los caballones con una mezcla de semillas y en la aportación de abono mineral de asimilación lenta. Esta siembra se realizará con el tempero adecuado.

Inmediatamente después, se regarán los acopios. Las dosis serán de 4l/m² cuidando que la intensidad de riego no supere la capacidad de infiltración de las tierras y aparezcan regueros.

Una vez extendida la tierra vegetal en los taludes y hasta el momento de las siembras, el contratista realizará las labores necesarias para protegerla frente a las escorrentías superficiales.

DOCUMENTO 4

PRESUPUESTO



ÍNDICE PRESUPUESTO

1. Mediciones	2
2. Precios unitarios	4
3. Precios por partida.....	6
4. Presupuesto total	10



1. Mediciones

CONCEPTO	UNIDAD	MEDICIÓN
EXCAVACIÓN		
Excavación en avance	m ³	187.746
Excavación en destroza	m ³	94.454
DESESCOMBRO		
Roca desescombrada	m ³	282.200
SOSTENIMIENTO		
Bulones 4 metros de longitud	Unidades	33.200
Hormigón HM-30 proyectado en avance	m ³	31.290
Hormigón HM-30 proyectado en destroza	m ³	7.868
REVESTIMIENTO		
Hormigón HM-30 bombeado en avance	m ³	18.774
Hormigón HM-30 bombeado en destroza	m ³	4.721
VENTILACIÓN		
Ventilador	unidades	2
Tubería de ventilación	m	3320
DESAGÜE		
Cunetas de desagüe	m	6640



**CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.**



PERSONAL		
Director facultativo	turno	1
Encargado	turno	2
Jumbista	turno	2
Palista	turno	2
Conductor de camión	turno	4
Gunitador	turno	2
Ayudantes	turno	8
MAQUINARIA		
Pala cargadora	turno	2
Excavadora	turno	2
Jumbo	turno	2
Camión	turno	4
Robot gunitador	turno	2
EXPLOSIVO		
Nagolita	kg	78,16
Riodín	kg	96,19
Cordón detonante	m	114
Detonadores	unidades	102



2. Precios unitarios

CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (€)
DESESCOMBRO		
Roca desescombrada	m ³	9,90
SOSTENIMIENTO		
Bulones 4 metros de longitud	Unidad	60
Hormigón HM-30 proyectado en avance	m ³	50
Hormigón HM-30 proyectado en destroza	m ³	50
REVESTIMIENTO		
Hormigón HM-30 bombeado en avance	m ³	50
Hormigón HM-30 bombeado en destroza	m ³	50
VENTILACIÓN		
Ventilador	unidades	30.000
Tubería de ventilación	m	10
DESAGÜE		
Cunetas de desagüe	m	24



**CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.**



PERSONAL		
Director facultativo	€mes	6.000
Encargado	€mes	6.000
Jumbista	€mes	5.600
Palista	€mes	5.600
Conductor de camión	€mes	5.000
Gunitador	€mes	5.600
Ayudantes	€mes	4.500
TOTAL		38.300
MAQUINARIA		
Pala cargadora	unidad	2*425.000
Excavadora	unidad	2*54.000
Jumbo	unidad	2*541.000
Camión	unidad	4*110.000
Robot gunitador	unidad	2*135.000
TOTAL		1.265.000



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



EXPLOSIVO		
Nagolita	kg	1,02
Riodín	kg	3,30
Cordón detonante	m	0,43
Detonadores	unidad	4,64

3. Precios por partida

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
DESESCOMBRO				
Roca desescombrada	m ³	282.200	9,90	2.793.780
SUBTOTAL		2.793.780		

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
SOSTENIMIENTO				
Bulones 4 metros de longitud	Unidad	33.200	60,00	1.992.000
Hormigón HM-30 proyectado en avance	m ³	31.290	50,00	1.564.500
Hormigón HM-30 proyectado en destroza	m ³	7.868	50,00	393.400
SUBTOTAL		3.949.900€		



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
REVESTIMIENTO				
Hormigón HM-30 bombeado en avance	m ³	18.774	50,00	938.700
Hormigón HM-30 bombeado en destroza	m ³	4.721	50,00	236.050
SUBTOTAL			1.174.750€	

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
VENTILACIÓN				
Ventilador	unidades	2	30.000,00	60.000
Tubería de ventilación	m	3320	10,00	33.200
SUBTOTAL			93.200,00€	

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
DESAGÜE				
Cunetas de desagüe	m	6640	24,00	159.360
SUBTOTAL			159.360,00€	



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



CONCEPTO	UNUNDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
PERSONAL				
Director facultativo	€mes	1*32 meses	6.000,00	192.000,00
Encargado	€mes	2*32 meses	6.000,00	384.000,00
Jumbista	€mes	2*32 meses	5.600,00	358.400,00
Palista	€mes	2*32 meses	5.600,00	358.400,00
Conductor de camión	€mes	4*32 meses	5.000,00	640.000,00
Gunitador	€mes	2*32 meses	5.600,00	358.400,00
Ayudantes	€mes	8*32 meses	4.500,00	1.152.000,00
SUBTOTAL			3.443.200,00€	

CONCEPTO	UNUNDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
MAQUINARIA				
Pala cargadora	unidad	2	425.000,00	850.000
Excavadora	unidad	2	54.000,00	108.000
Jumbo	unidad	2	541.000,00	1.082.000
Camión	unidad	4	110.000,00	440.000
Robot gunitador	unidad	2	135.000,00	270.000
SUBTOTAL			2.750.000,00€	



**CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.**



Se realizarán aproximadamente 1.332 voladuras, por lo que se realizará el cálculo teniendo en cuenta este dato:

CONCEPTO	UNUNDAD	CANTIDAD	PRECIO/UD	IMPORTE
EXPLOSIVO				
Nagolita	kg	78,16*voladura	1,02	106.191,30
Riodín	kg	96,19*voladura	3,30	422.812,76
Cordón detonante	m	114*voladura	0,43	65.294,64
Detonadores	unidad	102*voladura	4,64	630.408,96
SUBTOTAL			1.224.707,66€	

PRESUPUESTO TOTAL POR PARTIDAS	
SUBTOTAL	15.588.897,66€



4. Presupuesto total

PRESUPUESTO FINAL		
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN	DESESCOMBRO	2.793.780
	SOSTENIMIENTO	3.949.900€
	REVESTIMIENTO	1.174.750€
	VENTILACIÓN	93.200,00€
	DESGÜE	159.360,00€
	PERSONAL	3.443.200,00€
	MAQUINARIA	2.750.000,00€
	EXPLOSIVO	1.224.707,66€
	SUBTOTAL	15.588.897,66€
GASTOS GENERALES (6%)	935.333,86€	
BENEFICIO INDUSTRIAL (15%)	2.238.334,65€	
SEGURIDAD Y SALUD (2,5%)	389.722,44€	
SUBTOTAL	19.152.288,61€	
I.V.A. (21%)	4.021.980,61€	
PRESUPUESTO FINAL	23.174.961,22€	

Por lo tanto, el presupuesto final de ejecución para esta obra asciende a **VEINTITRES MILLONES CIENTO SETENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA Y UNO CON VEINTIDOS EUROS.**

ANEXOS

ANEXO 1

DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD



ÍNDICE DOCUMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. Introducción.....	4
1.1. Objeto	4
2. Datos generales de la obra.....	4
2.1. Datos generales de la obra.....	4
2.2. Descripción general de la obra	5
2.3. Identificación de los trabajadores y tipos de contrato laboral	6
2.4. Identificación de las contratatas y sus trabajadores.....	6
2.5. Descripción de actividades e identificación de los procesos.....	7
3. Organización de la prevención	7
3.1. Política preventiva.....	7
3.2. Empresario.....	8
3.3. Director facultativo.....	8
3.4. Modalidad preventiva	9
3.5. Recurso preventivo.....	9
3.6. Representantes de los trabajadores y dedicación en materia de seguridad y salud.....	9
3.7. Responsabilidades y funciones en materia preventiva	10
4. Identificación de peligros derivados de la actividad	10
4.1. Identificación de los lugares de trabajo.....	10
4.2. Identificación de los puestos de trabajo	10



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



4.3. Peligros en los lugares de trabajo	11
5. Evaluación de riesgos laborales en la empresa	14
5.1. Planificación de la actividad preventiva.....	15
6. Coordinación de actividades empresariales	16
6.1. Medios de comunicación establecidos	16
7. Procedimientos de trabajo, instrucciones y autorizaciones	16
8. Formación.....	17
9. Información	17
9.1. Información inicial por puesto de trabajo.....	17
9.2. Plan de reciclaje e información continua.....	18
10. Plan de emergencia y primeros auxilios.....	18
10.1. Introducción.....	18
10.2. Clasificación de emergencias	18
10.3. Plan de autoprotección y evacuación del túnel.....	19
10.4. Equipos de emergencia: funciones y responsabilidad	21
10.4.1. Composición de los equipos de intervención	22
10.4.2. Medios humanos y formación	23
10.4.3. Simulacros	23
11. Actuaciones en caso de incendio y explosiones	24
11.1. Medidas de protección ante el explosivo	26
11.2. Actuación en caso de accidentes laborales.....	28
11.3. Legislación aplicable	29
11.4. Conclusión.....	30
12. Vigilancia de la salud	30



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



12.1. Reconocimientos médicos	30
13. Control y evaluación de la actividad preventiva	31
13.1. Controles periódicos de las condiciones de trabajo y de las actividades de los trabajadores	31
13.2. Seguimiento de los accidentes, incidentes y enfermedades profesionales	32
13.3. Índices de siniestralidad	33



1- Introducción

El Túnel de Santa Marina abarca las obras comprendidas entre los P.K. 1+360 y 4+680 del mencionado proyecto.

1.1.-Objeto

Con este anexo se pretende elaborar el Documento de Seguridad y Salud conforme a lo exigido por la Orden ITC/1001/2006 de 23 de Enero, estableciendo las normas de seguridad aplicables durante las obras, según se desprenden de la normativa española en vigor en materia de prevención de riesgos laborales. Por otro lado, se pretende facilitar las instrucciones necesarias para que las obras se desarrollen en unas condiciones de seguridad y salud que eviten o minimicen la posibilidad de accidentes, incidente y enfermedades profesionales.

2- Datos generales de la obra

2.1.- Datos generales de la obra

- Denominación: túnel de Santa Marina.
- Emplazamiento: se materializa administrativamente en el ámbito provincial de Cáceres y en los términos municipales de Cañaveral y Casas de Millán.
- Promotor: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF).
- Plazo de ejecución: 32 meses.
- Presupuesto de ejecución: 23.174.961,22€
- Presupuesto de seguridad y salud: 389.722,44€
- Centros asistenciales y de emergencias:



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



CENTROS ASISTENCIALES Y EMERGENCIAS	
CENTROS ASISTENCIALES	EMERGENCIAS
HOSPITAL RAMON Y CAJAL Calle Ramón y Cajal, Acehuche Teléfono: 927 00 42 78	PARQUE DE BOMBEROS Av. Dulcinea Teléfono: 927 224 080
CENTRO DE SALUD DE CASAR DE CÁCERES Calle Barrionuevo, 49 Teléfono 927 290 858	EMERGENCIAS 112
HOSPITAL QUIRÓNSALUD CÁCERES Av. de la Universidad, 5 Teléfono: 927 18 16 60	

Ilustración 1. Centros asistenciales y emergencias

2.2.- Descripción general de la obra

La obra a realizar consiste en la ejecución de un túnel de 3320 m de longitud, excavado por fase (avance y destroza) con medios mecánicos y mediante perforación y voladura.

El sistema de construcción se basa en el método austriaco, utilizando hormigón proyectado y bulones para el sostenimiento.

El terreno atravesado por el túnel está formado por materiales precámbricos y ordovícicos, compuestos fundamentalmente por un complejo esquisto-grauváquico, pizarras, areniscas y cuarcitas.

La maquinaria a utilizar durante la construcción del túnel será:



- Un jumbo.
- Una pala cargadora.
- Una excavadora.
- Dos camiones.
- Un robot gunitador.

2.3.- Identificación de los trabajadores y tipos de contrato laboral

Para la ejecución de la excavación y sostenimiento del túnel, se trabajará las 24 horas del día en turnos de 12 horas, contando cada relevo con el siguiente personal:

- Director facultativo
- Jefe de obra
- Jumbista
- Palista
- Conductor de camión
- Gunitador
- Ayudantes

Todo el personal relacionado contará con experiencia en la ejecución de túneles y con la adecuada formación en las diferentes materias necesarias para ello.

2.4.- Identificación de las contratatas y sus trabajadores

Se podrán realizar subcontrataciones en base a lo establecido en la Ley 2/2006 reguladora de la Subcontratación.



Tanto la empresa subcontratada, como el personal y maquinaria que ésta aporte a la obra, deberá entregar a la contrata principal toda la documentación requerida por la contrata antes de su incorporación a la obra.

2.5.- Descripción de actividades e identificación de los procesos

El proceso de excavación se plantea bajo los criterios y elementos de sostenimiento del nuevo método austriaco, ya que es el más adecuado para las características de los terrenos afectados. Consiste en la aplicación de sostenimientos ligeros de forma inmediata tras la excavación, los cuales permiten la disipación de gran parte de la energía potencial del macizo que se libera tras la apertura de la perforación.

El sostenimiento que se aplica actúa aportando una presión interior en el túnel, que produce un estado de confinamiento radial sobre el terreno de entorno, el cual debe ser suficiente para conseguir la estabilidad de la sección.

La excavación de los túneles se llevará a cabo en tres fases distintas.

- Fase de avance: se excavará en una única fase.
- Fase de destroza: se excavará una vez finalizado el avance o bien puede solaparse durante la fase de avance.

3- Organización de la prevención

3.1.- Política preventiva

La dirección con el fin de avanzar y alcanzar un nivel en la calidad de todas sus actividades, respetando la protección del medio ambiente y preservando la seguridad y salud de los trabajadores y de cuantos entran en contacto con la organización, deberá



definir su política de gestión como marco de referencia para establecer y obtener los objetivos marcados.

3.2.- Empresario

El empresario deberá cumplir con las obligaciones impuestas por la Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales. Por ello, el empresario deberá garantizar la seguridad y salud de los trabajadores a su servicio en todos los aspectos relacionados con el trabajo. A estos efectos, realizará la prevención de riesgos laborales mediante la adopción de cuantas medidas sean necesarias para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores, con las especialidades que se recogen en los artículos siguientes en materia de evaluación de riesgos, información, consulta, participación, formación de los trabajadores, actuación en caso de emergencia y de riesgo grave e inminente, vigilancia de la salud, y mediante la constitución de una organización de los medios necesarios en los términos establecidos en el capítulo IV de la presente Ley.

3.3.- Director facultativo

Será el responsable de establecer las disposiciones internas de seguridad que regulen la actividad. Dichas disposiciones se someterán a la aprobación de la autoridad competente y una vez aprobada, serán de obligatorio cumplimiento para todo el personal de la empresa afectada.

El director facultativo conocerá sus obligaciones y responsabilidades según lo establecido en el Real Decreto 863/1985 del 2 de abril, por el cual se aprueba el reglamento general de normas básicas de seguridad minera.



3.4.- Modalidad preventiva

La empresa deberá definir la modalidad preventiva que vaya a emplear a lo largo de la obra.

La modalidad preventiva deberá dar cobertura a todas las diferentes especialidades: preventivas, seguridad en el trabajo, higiene, ergonomía y psicología, y vigilancia de la salud.

En este caso la empresa tiene una organización preventiva basada en la gestión de la prevención a través de un servicio de prevención propio en las modalidades de seguridad e higiene y concertado con un servicio de prevención ajeno en las modalidades de ergonomía y psicología y vigilancia de la salud.

3.5.- Recurso preventivo

Se dispondrá en obra de uno o varios recursos preventivos. La designación del recurso preventivo se realizará según la disposición adicional décima del R.D. 604/2006:

“Disposición adicional décima. Presencia de recursos preventivos en las obras de construcción.”

3.6.- Representantes de los trabajadores y dedicación en materia de seguridad y salud

Se dará cumplimiento a los artículos 34 y 35 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, referente al derecho de participación, representación de trabajadores y delegados de prevención.



3.7.- Responsabilidad y funciones en materia preventiva

Las funciones y responsabilidades principales asociadas a cada puesto del organigrama deberán estar definidas y serán trasladadas a cada uno de los trabajadores de la empresa. Estas funciones y responsabilidades deberán estar por escrito y disponibles en la obra para la consulta de todo el personal que lo solicite.

4- Identificación de peligros derivados de la actividad

4.1.- Identificación de los lugares de trabajo

A continuación se identifican los diferentes lugares de trabajo para la ejecución del túnel.

- Interior del túnel:
 - Frente de excavación.
 - Pasillo.
- Exterior del túnel:
 - Casetas.
 - Almacenamientos de gasoil, aditivo, agua, etc.
 - Taller de mantenimiento.
 - Zona de instalación de minipolvorines.
 - Zona de manipulación de explosivos.

4.2 Identificación de los puestos de trabajo

Los puestos de trabajo necesarios para la ejecución del túnel de Santa Marina son:



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- Un jefe de obra.
- Dos directores facultativos.
- Dos jumbistas.
- Dos gunitadores
- Dos palistas.
- Cuatro conductores.
- Ocho ayudantes.

4.3.- Peligros en los lugares y puestos de trabajo

A continuación se tratará de incidir en los aspectos a tener en cuenta en las diferentes:

ACTIVIDAD	RIESGOS IDENTIFICADOS	MEDIDAS PREVENTIVAS
PERFORACIÓN	<ul style="list-style-type: none">-Desprendimientos de fragmentos de roca.-Atrapamientos, aplastamientos por elementos móviles de las máquinas.-Golpes por rotura de barrenas o quemaduras por fricción.-Vuelco de maquinaria.-Ruidos derivados de la perforación.-Explosión por restos de explosivo.-Electrocución por fallos en cuadro eléctrico.	<ul style="list-style-type: none">-Adecuado saneo del frente y sellado del contorno.-Realización de operaciones de cambio de barrenas con la máquina parada.-Utilización de los EPI correspondientes.-Correcta nivelación de la maquinaria.-Desconectar el cuadro eléctrico al conectar o desconectar el jumbo.
DESESCOMBRO Y SANEO	<ul style="list-style-type: none">-Atropello o aplastamiento por la maquinaria en circulación.-Caídas de rocas desde la caja del camión.-Caídas y vuelcos de vehículos.-Desprendimiento de fragmentos de roca.-Existencia de restos de explosivo.	<ul style="list-style-type: none">-Prohibir paso peatonal de personal en la zona de tránsito de máquinas.-La maquinaria transitará a velocidad reducida.-Tras el saneo, verificación por parte del facultativo el estado



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



	<ul style="list-style-type: none">-Acumulación de gases y/o polvo.-Ruidos derivados del empleo de la diferente maquinaria.	<p>del frente y pase ejecutado.</p> <ul style="list-style-type: none">-Evitar cargas excesivas en pala y camiones.-Vigilancia sobre la existencia de restos de explosivo en el escombros.-Uso de ropa de alta visibilidad, incluso luminarias personales, si fuera necesario.-Correcto mantenimiento de instalación de ventilación.-Uso de dispositivos ópticos y acústicos en las maniobras de la maquinaria. Rotativos en funcionamiento.-Mediciones periódicas de gases y polvo en el interior del túnel.-Mediciones de ruido en el interior del túnel. Uso de tapones y casco durante las labores que se ejecuten.
PROYECCIÓN DE GUNITA	<ul style="list-style-type: none">-Golpes por rebote de partículas de gunita.-Atrapamientos o golpes por elementos móviles de las máquinas.-Quemaduras por manipulación de sustancias cáusticas.-Desprendimiento de fragmentos de roca y/o gunita.-Molestias en las mucosas.	<ul style="list-style-type: none">-Uso adecuado de EPIS para la manipulación de gunita.-Evitar el radio de acción de la máquina.-Correcta nivelación de la máquina.-Eliminar presión en caso de atascos o mantenimiento de la máquina.-Correcta formación de los operarios en el uso del robot y autorización para utilizarla.-Gunitar desde la zona sostenida.-Los trabajadores deberán disponer de la ficha de seguridad en obra y conocer los riesgos que el uso de esta sustancia conlleva.
COLOCACIÓN DE	<ul style="list-style-type: none">-Desprendimiento de fragmentos de roca.	<ul style="list-style-type: none">-Adecuado saneo del frente y



**CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.**



<p>MALLAZO Y BULONES</p>	<ul style="list-style-type: none">-Caída de objetos a distinto nivel.-Caídas al mismo y distinto nivel.-Sobreesfuerzos por trabajo con maquinaria.	<ul style="list-style-type: none">sellado del contorno.-Evitar trabajos simultáneos en la misma vertical.-Respetar el perímetro de seguridad que evite el golpeo por bulones que puedan caer desde la cesta.-Elevador telescópico estacionado en lugar correcto y estable.-Revisión y mantenimiento periódicos de la cesta.-La cesta dispondrá de arneses para los casos en que se realicen tareas a altura desde fuera de la cesta.-Utilización de gafas para evitar posibles proyecciones al colocar los bulones.-Iniciar la colocación de los bulones por los hastiales del túnel. para mayor tiempo de fragüe de la gunita en la clave.-Fuerte y segura sujeción de la perforadora antes de ponerla en marcha.
<p>INSTALACIONES AUXILIARES</p>	<ul style="list-style-type: none">-Riesgo de electrocución.-Golpes debidos a rotura de mangueras con presión (de agua o aire).	<ul style="list-style-type: none">-Adecuada ordenación del cableado y abastecimiento en la instalación interior del túnel.-Revisión periódica de armarios y cuadros eléctricos.-Evitar aplastamiento de cables y mangueras.-Prohibir la manipulación por personal no autorizado de cuadros eléctricos.-Desconexión previa de presión o tensión para efectuar reparaciones, empalmes, etc.-Correcto dimensionamiento de cables y protecciones.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



PEQUÑA HERRAMIENTA AUXILIAR	-Riesgos derivados del uso indebido de la pequeña maquinaria y herramienta.	-Utilización adecuada de EPIS. -Mantenimiento de orden y limpieza en la obra. -Uso correcto d los útiles empleados.
--	---	---

Ilustración 2. Peligros en los lugares y puestos de trabajo

5- Evaluación de riesgos laborales en la empresa

Evaluación general de riesgos en la empresa y de los diferentes puestos de trabajo.

La empresa dispondrá de la evaluación de riesgos de cada uno de los diferentes puestos de trabajo señalados con anterioridad, realizado por un técnico superior de riesgos laborales y capacitado para ello. Los trabajadores deberán conocer la evaluación de riesgos de su puesto. La evaluación de riesgos de la empresa, junto con la planificación preventiva derivada de ésta, deberá estar a disposición de todos los trabajadores en la caseta de obra para cualquier consulta que se necesite realizar.

La evaluación deberá realizarse en base a una metodología predeterminada. A continuación se adjunta la evaluación de riesgos realizada para el túnel de Santa Marina.

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	O	I	Ld	d	Ed	T	To	M	I	In
Caídas a distinto nivel	X				X			X			X		
Caídas al mismo nivel				X		X				X			
Aprisionamiento por vehículos	X			X				X			X		
Sepultamiento por desprendimientos	X			X				X			X		
Caída de objetos	X				X			X			X		
Vuelco de maquinaria	X			X				X			X		
Golpes por objetos pesados	X			X			X			X			



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



Caída de objetos por derrumbamiento	X				X			X			X		
Caída de objetos desprendidos	X				X			X			X		
Choques contra objetos móviles	X			X			X			X			
Vuelco de piezas	X			X			X			X			
Contusiones y torceduras en extremidades		X			X	X				X			
Atropellos por vehículos	X			X				X			X		
Colisiones entre vehículos	X			X				X			X		
Proyecciones a los ojos	X				X		X			X			
Sobreesfuerzos	X				X	X				X			
Electrocución	X			X				X			X		
Quemaduras	X				X		X			X			
Inhalación de gases	X				X		X			X			
Radiaciones	X				X	X			X				
Polvo		X			X	X				X			
Ruido		X			X	X				X			
Vibraciones		X			X	X				X			
Pisadas sobre objetos		X			X	X				X			
Choques contra objetos inmóviles	X			X		X			X				
Atrapamiento entre objetos	X			X				X			X		
Exposición a sustancias nocivas o tóxicas	X				X		X			X			
Golpes por manejo de martillos		X			X	X				X			
Explosiones	X			X				X			X		

Ilustración 3. Evaluación de riesgos

5.1.- Planificación de la acción preventiva

Se tomarán medidas preventivas en base a los resultados obtenidos en la evaluación de riesgos. Estas medidas preventivas se planificarán en base a la prioridad



de actuación obtenida de la evaluación de riesgos. Tendrá que establecerse los plazos, recursos y persona responsable para llevar a cabo las diferentes acciones.

6- Coordinación de actividades empresariales

6.1.- Medios de comunicación establecidos

Se cumplirá con lo establecido en el R.D 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.

La comisión se reunirá, al menos, mensualmente para tratar de los temas relativos a la prevención. A dicha reunión será convocado el coordinador de seguridad y salud.

7- Procedimiento de trabajos, instrucciones y autorizaciones

La ejecución del túnel contará con instrucciones técnicas y disposiciones de seguridad para el correcto desarrollo de los trabajos y una mayor seguridad de personal de la obra. Las DIS se elaborarán cuando existan trabajos de especial riesgo que inicialmente no hayan sido contemplados.

Todo el personal que deba realizar un trabajo peligroso, recibirá por escrito las instrucciones necesarias y el procedimiento de actuación. Se prohíbe realizar trabajos peligrosos a las personas que no cuenten con autorización expresa para los mismos.



8- Formación

8.1.- Formación inicial por puesto de trabajo

Todo el personal recibirá, al ingresar en la obra, una exposición de la organización de la seguridad y las normas generales de actuación en ese centro de trabajo. Además, en un plazo no superior a 15 días, se le facilitará la formación adecuada, en materia de riesgos y su prevención, correspondiente a su especialidad, siempre que no la hubiese recibido en un plazo de un año por la propia empresa.

8.2.- Plan anual de reciclaje y formación continua

Se elaborará un plan anual de formación donde se establecerá la periodicidad para el reciclaje formativo.

Por otro lado se tendrá en cuenta la impartición de la formación obligatoria exigida y para aquellos puestos de trabajo que la legislación exija una formación en PRL mínima.

9- Información

9.1.- Información inicial por puesto de trabajo

Todo el personal, recibirá al ingresar en la obra, información de la organización de seguridad y las normas generales de actuación en ese centro de trabajo.



9.2.- Plan anual de reciclaje e información continua

Se elaborará un plan de informativo donde se establecerá la periodicidad para el reciclaje de ésta.

10- Plan de emergencia y primeros auxilios

10.1.- Introducción

Se pretende disponer de un esquema de actuación eficaz y rápida, que tenga en cuenta los diversos factores a tener en cuenta ante una emergencia que pueda presentarse. El plan de Emergencia es de obligado conocimiento y cumplimiento para todo el personal de obra.

10.2.- Clasificación de emergencias

Las posibles emergencias que pueden producirse en la obra de acuerdo con la evaluación de riesgos efectuada son:

- Accidentes con lesiones personales.
- Enfermedad del personal.
- Incendio.
- Explosión.
- Desprendimientos y/o derrumbes.
- Inundación.
- Las debidas a trabajos en atmósferas peligrosas.

Según la gravedad de la emergencia la misma se clasifica en:



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- **PROPENSIÓN DE EMERGENCIA:** emergencia que puede ser controlada de manera sencilla por el encargado o trabajadores. Ante cualquier lesión, por pequeña que sea, el accidentado informará al Jefe de Relevo que al mismo tiempo será el encargado de avisar al técnico de seguridad. El encargado del tajo llevará al accidentado al botiquín de la obra y si fuera necesario a la Mutua de accidentes.
- **EMERGENCIA PARCIAL:** Emergencia para cuyo control es necesaria la actuación de todos los equipos y medios propios y puede requerir un aporte de medios externos (bomberos, ambulancia, etc.). Se avisará al 112 en caso de accidente grave, informando al Jefe de Obra. Los trabajadores se reunirán en el “Punto de encuentro SOS”.
- **EMERGENCIA GENERAL:** Emergencia para cuyo control es necesaria la actuación de todos los equipos y medios propios y requiere un aporte de medios externos (bomberos, ambulancia, etc.).

El jefe de Obra, en caso de accidente grave, avisará directamente al teléfono de emergencias 112 y se procederá como en el caso anterior. A continuación se avisará al Responsable de Seguridad de lo ocurrido.

De forma general, cuando se requiera realizar una evacuación, todo el personal de obra deberá reunirse en el punto de reunión previsto a tal fin.

10.3.- Plan de autoprotección y evacuación del túnel

El plan de autoprotección y Evaluación del túnel comprende la organización de los medios humanos y materiales para:

- Prevenir riesgos.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- Garantizar la intervención inmediata.
- Garantizar la realización de primeros auxilios.
- Garantizar la evacuación en situaciones de:
 - Accidentes laborales.
 - Incendios.
 - Generación de humos y gases nocivos.
 - Inundaciones.
 - Hundimientos incontrolados.
 - Explosiones.

El túnel dispondrá de medios propios de autoprotección encargado de coordinar las distintas actuaciones en situaciones de emergencia. Para ello se dispondrá de los siguientes recursos:

- Material de extinción suficiente:
 - Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 13A/55BY de 3 kg.
 - Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 21A/113B, de 6kg.
 - Extintor de nieve carbónica CO₂, de eficacia 34B, de 2kg.
 - Extintor de nieve carbónica CO₂, de eficacia 70B, de 5kg.
- Detectores de monóxido de carbono, oxígeno, metano y sulfhídrico.
- Medios de transporte sanitario y salvamento.
- Equipo de intervención.



- Iluminación de emergencia. Paralela a la línea de iluminación del túnel y con línea eléctrica independiente se dispondrá de iluminación de emergencia, señalizando la vía de evacuación del túnel así como la de salida.
- Material de protección personal.
- Material sanitario (botiquín).
- Material de señalización.

10.4.- Equipos de emergencia: funciones y responsabilidades

El comité de autoprotección y evacuación será responsable de:

- Director del Plan (DP): es el Jefe de la obra del túnel. Estará encargado de coordinar este Plan con el de Emergencia exterior.
- Jefe de Plan (JP) y Jefe de Intervención (JI): es el Jefe de Relevo y será el responsable de:
 - Activar el plan de autoprotección y Emergencia en caso necesario.
 - Informar al director del Plan del inicio y evolución de cualquier emergencia.
 - Decidir las acciones para resolver las situaciones de protección más adecuadas.
 - Supervisiones periódicas y mantenimiento del Plan de Autoprotección y Emergencia.
 - Coordinar las acciones de los Equipos de Intervención.
 - Solicitar asistencia médica a los Centros Sanitarios y equipos externos.



- EPI

Estarán integrados por el personal con misiones específicas dentro del Plan y a su vez entrenadas y organizadas para la prevención y actuación en caso de emergencia.

El equipo de Intervención deberá conocer y tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Saber valorar el riesgo general y concreto que ofrecen los diferentes procesos de la obra.
- Comunicar al Jefe de Intervención cualquier situación accidental o anomalía.
- Estar capacitado para minimizar las causas de las posibles anomalías.
- Prestar los primeros auxilios a personas accidentadas, para lo cual serán formados en nociones de atención y reconocimiento.
- Coordinarse con el resto de los miembros y equipos de la Organización de Autoprotección.

10.4.1.- Composición de los equipos de intervención

Para garantizar las funciones de alarma, extinción y evacuación, la prestación de los primeros auxilios y la coordinación de todas las actividades de control de la emergencia, se definen los siguientes equipos:

- DIRECTOR DEL PLAN: JEFE DE OBRA.
 - JEFE DE PLAN Y JEFE DE INTERVENCIÓN: JEFE DE RELEVO Y ENCARGADO.
 - JEFE DE PRIMERA INTERVENCIÓN: CAPATAZ DE TURNO.
 - JEFE DE ALARMA Y EVACUACIÓN.



➤ JEFE DE PRIMEROS AUXILIOS.

- *EQUIPO DE SEGUNDA INTERVENCIÓN*: CAPATAZ DEL TURNO 112.

10.4.2.- Medios humanos y formación

Los medios y medidas existentes en situaciones de emergencia deben ser puestos en conocimiento de todo el personal que se encuentre dentro de las instalaciones de obra.

Se dispondrán carteles en el tablón de anuncios de la obra, para informar al personal sobre actuaciones de prevención de riesgos y comportamiento a seguir en caso de emergencia.

Se impartirá formación a los integrantes de los equipos de intervención:

- Formación de socorrismo al equipo de primeros auxilios.
- Formación al equipo de primera intervención.

10.4.3.- Simulacros

Se realizará un simulacro anual con los siguientes objetivos:

- Comprobación del correcto funcionamiento de algunos medios existentes como las comunicaciones, alarma, equipos de extinción, vehículos, luces de emergencia, etc.
- Tomar tiempos de actuación para valorarlos y en función de éstos tomar medidas.
- Conocimiento y utilización del Plan de Emergencia.

Revisión del Plan de Emergencia:



Siempre que se pueda hay que contar con una edición puesta al día del Plan de Emergencia, para poder adecuar a las circunstancias cambiantes de explotación.

11- Actuaciones en caso de incendio y explosiones

Cualquier persona que descubre el comienzo de un incendio o explosión en el interior del túnel:

- Dará alarma por el medio más rápido.
- Seguidamente, si se sabe manejar un extintor, tratará de apagar el fuego.
- Si no se sabe manejar un extintor, evacuará la zona de peligro.
- Mantendrá la calma en todo momento.
- Si la persona se bloqueada por el humo, saldrá de la zona gateando.
- En caso de que se le prenda la ropa, se tirará al suelo y rodará sobre sí mismo.

Medios de extinción

Los medios de extinción dispuestos en el interior y exterior del túnel serán:

- Un extintor de 6kg cada 250m.
- Cada máquina dispondrá de un extintor propio.
- Las instalaciones eléctricas dispondrán de extintores de CO2.
- Depósito de gasóleo, extintor de 6kg de polvo polivalente.

Reglas generales de uso de un extintor portátil:

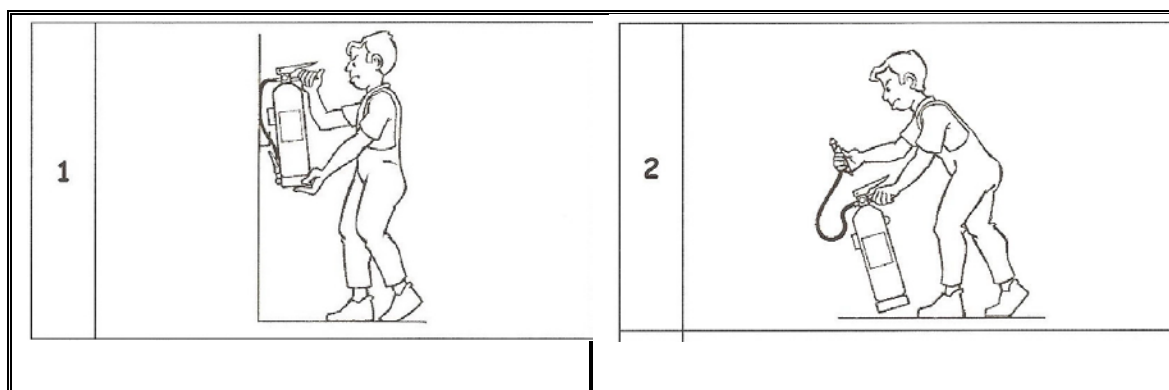
1. Descolgar el extintor asiéndolo por la maneta o asa fija y dejarlo sobre el suelo en posición vertical.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



2. En caso de que el extintor posea manguera asirla por la boquilla para evitar la salida incontrolada del agente extintor. En caso de que el extintor fuese de CO₂ llevar cuidado especial en asir la boquilla por la parte aislada destinada para ello y no dirigida hacia las personas.
3. Comprobar en caso de que exista válvula o disco de seguridad que están en posición sin peligro de proyección de fluido hacia el usuario.
4. Quitar el pasador de seguridad tirando de su anilla.
5. Acercarse al fuego dejando como mínimo un metro de distancia hasta él. En caso de espacios abiertos acercarse en la dirección del viento.
6. Apretar la maneta. Realizar una pequeña descarga de comprobación de salida del agente extintor.
7. Dirigir el chorro a la base de las llamas.
8. En el caso de incendios de líquidos proyectar superficialmente el agente extintor efectuando un barrido horizontal y evitando que la propia presión de impulsión pueda provocar el derrame incontrolado del producto en combustión. Avanzar gradualmente desde los extremos.



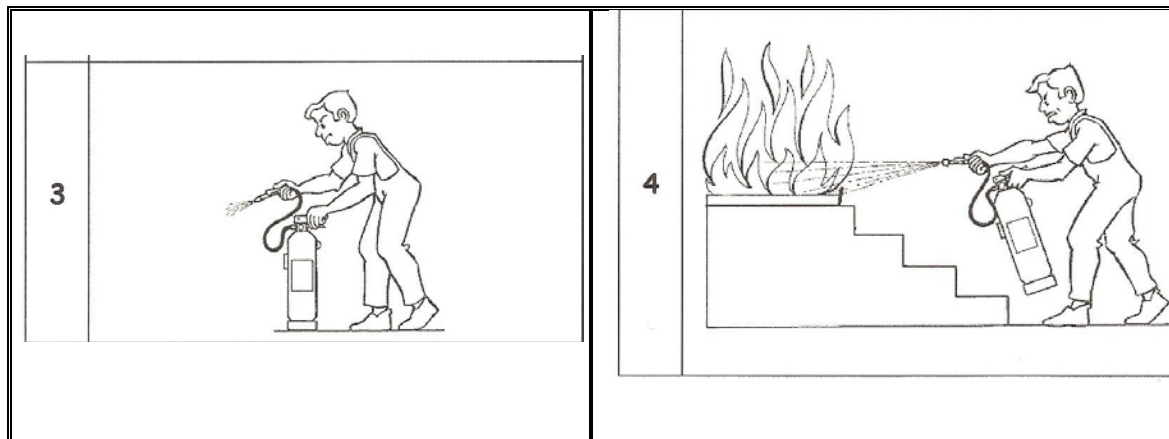


Ilustración 4. Medios de extinción

11.1.- Medidas de protección ante el explosivo

- Se señalizará la zona afectada, quedando prohibido fumar o realizar cualquier tipo de fuego o chispa de esa área.
- En los tajos que puedan afectar a la conducción de gas, será obligatorio disponer de un extintor.
- Principales medidas a tomar respecto al explosivo de la obra:
 - El transporte de explosivo en el recinto de la empresa debe ser hecho por personal autorizado y que los vehículos empleados para el transporte sean inspeccionados y estén limpios de explosivos.
 - Los detonadores nunca deben transportarse ni almacenarse junto al resto de explosivos.
 - Está totalmente prohibido reprofundizar barrenos fallidos y utilizar fondos de barrenos para continuar la perforación.
 - Durante la introducción de las cañas de explosivo, evitar fricciones que puedan dañar los hilos del detonador.
 - No emplear nunca elementos metálicos para el retacado de los barrenos.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- Los detonadores eléctricos conservarán los extremos de sus hilos en cortocircuito en todo momento.
- Durante la operación de carga con detonadores eléctricos, no será utilizado ningún equipo eléctrico conectado a la red.
- Los extremos de la línea auxiliar o volante de tiro estarán en cortocircuito hasta su conexión final.
- La línea de tiro se instalará en el hastial opuesto de otras líneas, manteniendo los cables una distancia mínima de 30cm.
- Antes del disparo se comprobará el circuito eléctrico de la voladura e inmediatamente antes del mismo se efectuarán los tres avisos reglamentarios de sirena.
- Tras la voladura, si se detectan barrenos fallidos, bien antes del desescombro o durante el mismo, se procederá a paralizar las labores en el frente y se comunicará el hecho a un artillero responsable.
- Una vez limpio el frente se inspeccionará minuciosamente marcando y señalando todos los barrenos fallidos y se procederá:
 - o Retirando las cañas de cartuchos que salgan con facilidad. Quitar el detonador y cortocircuitar.
 - o Si hay dificultad para retirar la caña y se aprecia explosivo y cables en buen estado, redisparar el barreno.
 - o Si hay dudas sobre las condiciones del barreno o problemas en la posterior comprobación, preparar otro cartucho cebo y redisparar.
 - o Tras la voladura y desescombro inspeccionar de nuevo el frente de trabajo en busca de barrenos fallidos.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- El material explosivo que sea recuperado de los barrenos fallidos será destruido tras una detenida inspección, asegurándose que no le acompaña ningún detonador.
- La destrucción del explosivo, si procede, se efectuará en un lugar destinado única y exclusivamente a esta labor. Será realizado por el director facultativo o personal habilitado por éste.
- Los detonadores nunca se destruirán en el lugar destinado para la eliminación del explosivo o cordón detonante.
- El material explosivo, excepto los detonadores se destruirán mediante combustión.
- El cordón detonante se destruirá mediante combustión, se extenderá y cortará en pequeños tramos sin posibilidad de que queden acumulaciones.
- Los detonadores serán destruidos mediante detonación en un lugar alejado de cualquier paso e instalación. Debe ser controlado el número de detonadores a destruir para confirmación posterior.

11.2.- Actuación en caso de accidentes laborales

Se seguirán las recomendaciones que se establecen a continuación:

- En primer lugar se comunicará al Jefe de intervención, la situación del accidentado.
- En caso de que el accidente sea leve, se trasladará al trabajador junto con un parte de asistencia a la Mutua más cercana. Si ésta estuviera cerrada se trasladaría al Hospital más cercano.



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



- En caso de que las consecuencias del accidente sea aparentemente graves, se aplicarán los primeros auxilios y se avisará al servicio de emergencia como se ha dicho anteriormente explicado tras haber informado previamente al Jefe de Intervención y seguir sus instrucciones. En caso de duda del estado del trabajador, no es conveniente tocarlo hasta que llegue personal sanitario.
- En el caso de ser accidente grave se debe comunicar a la Autoridad Laboral en un plazo máximo de 24 horas.

11.3.- Legislación aplicable

En el desarrollo del presente trabajo se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

- Legislación de Minas, Art. 110.
- Orden ITC/101/2006, de 23 de Enero, por la que se regula el contenido mínimo y estructura del documento sobre seguridad y salud para la industria extractiva.
- Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995, del 8 de Noviembre de 1995.
- Decreto 22 de Diciembre de 1960, Arts. 13, 15, 17, 31.
- Norma sobre la señalización de Seguridad en los centros y locales de trabajo aprobado por el Real Decreto 485/1997.
- Reglamento de instalaciones de Protección Contra Incendios. Aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de Noviembre de 1993.
- Ley de 1985 de Enero, sobre Protección Civil.
- Las normas UNE, que hacen referencia a las instalaciones contra incendios y que son reflejadas en la NBE-CPI-91.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, INSHT.



11.4.- Conclusión

Este documento estará situado de forma visible, en las casetas de obra. Así como el listín de teléfonos de emergencias y la ubicación de los Puntos de Encuentro y los caminos de evacuación.

El encargado del túnel será el encargado de avisar al servicio de emergencias y al equipo de obra de las situaciones de emergencia que se den.

Por otro lado, este Plan de Emergencias se corregirá según se vayan realizando las instalaciones de obra, y en función de las necesidades de la obra.

12- Vigilancia de la salud

12.1.- Reconocimientos médicos

- Reconocimiento médico inicial: todo el personal que empiece a trabajar en la obra deberá pasar un reconocimiento médico previo.
- Reconocimiento médico periódico: la frecuencia de los Reconocimientos Médicos está en relación con el riesgo al que está sometido el trabajador y sus características.
- Reconocimiento médico específico: aquellos trabajadores sometidos a riesgos especiales deben realizar un Reconocimiento Médico Especial con la periodicidad expresada en la legislación específica vigente. Este reconocimiento es obligatorio para el trabajador.



13- Control y evaluación de la actividad preventiva

13.1.- Controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores

Se realizarán controles periódicos de las condiciones de trabajo y de las diferentes actividades que se realizan tanto en el interior como en el exterior de los túneles. Se deberán realizar los siguientes controles:

- Revisiones periódicas de las instalaciones eléctricas de la obra.
- Revisiones mensuales de las actividades del túnel:
 - Uso de EPI de las diferentes actividades.
 - Cumplimiento de los procedimientos e instrucciones de seguridad
 - Cumplimiento de las medidas preventivas establecidas en plan de seguridad y salud.
 - Cumplimiento de la legislación vigente en materia de prevención de riesgos laborales.
- Se realizarán mediciones de agentes químicos según lo establecido en el R.D. 374/2001 referente a la protección de la seguridad y salud de los trabajadores contra riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

También se realizarán mediciones de temperatura y humedad en el interior del túnel, cada dos meses. Para evitar altas temperaturas será necesario mantener la ventilación en buen estado al igual que para una correcta calidad del aire en el interior del túnel. Para ello se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Evitar la recirculación del aire.



- La ventilación se mantendrá entre 30 y 50m del frente del túnel.
- Se deberá utilizar mascarilla de seguridad en aquellas actividades que los resultados obtenidos en las mediciones lo requieran.
- Las mediciones de ruido se efectuarán de acuerdo con el artículo 6 y anexos 2 y 3 del R.D. 286/2006 para todos los puestos en el que exista riesgo posible.

Se deberá utilizar protección auditiva en aquellas actividades que los resultados obtenidos en las mediciones lo requieran.

13.2.- Seguimiento de los accidentes, incidentes y enfermedades profesionales

En el momento que se produzca un accidente se pondrá en marcha el siguiente procedimiento:

- Atender al trabajador.
- Si el accidente es leve, el jefe de relevo entregará un parte de asistencia para que el trabajador acuda a la mutua más cercana.
- Se cumplimentará el parte de accidente de trabajo (Formato Informático www.delta.mtas.es), en aquellos accidentes de trabajo o recaídas que conlleven la ausencia del trabajador de al menos un día. Dicho parte es remitido a la Mutua en el plazo máximo de 5 días hábiles desde la fecha en que ocurrió el accidente, o desde la fecha de baja médica.
- En los accidentes sin baja, se cumplimentará mensualmente una relación de los trabajadores que han sufrido accidente de trabajo durante el mencionado mes, sin causar baja médica. Dicha relación es remitida a la Mutua en los 5 primeros



CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL FERROVIARIO PARA LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-EXTREMADURA.



días hábiles del mes siguiente al de referencia de los datos (Formato Informático www.delta.mtas.es).

- Los accidentes mortales, muy graves, graves deberá ser comunicado dicha circunstancia a la autoridad laboral, a la comisión de seguridad del convenio del sector de la construcción y a la Autoridad Minera en el plazo máximo de 24 horas.
- Se realizará la investigación del accidente según lo estipulado en el formato del anexo 3 y se tomarán las medidas preventivas y/o correctivas adecuadas para que no se produzca nuevamente. Se realizará un seguimiento de las medidas propuesta e implantadas según lo estipulado en el formato de investigación de accidentes para determinar su fiabilidad.

13.3.- Índices de siniestralidad

La Mutua presenta en su Memoria Anual los Índices Estadísticos de Accidentalidad más representativos, de cara a que la empresa conozca su posicionamiento en el sector y pueda asimismo plantear mejoras en su Gestión preventiva.