



Túneles de Abdalajís

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.- Introducción

2.- Tramo Gobantes – Túnel de Abdalajís Este

3.- Ejecución de los túneles

- Proceso de construcción
- Galerías de Seguridad

4.- Tuneladoras

- Partes de la tuneladora
- Funcionamiento
- Instalaciones auxiliares
- Principales características de las tuneladoras

5.- Revestimiento interior

6.- Compromiso Medioambiental

- Protección del Sistema Hidrológico
- Otras medidas adoptadas

Túneles de Abdalajís

1.- Introducción

La construcción de la línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga se inscribe en el corredor de Andalucía, que conectará a través de la línea Madrid-Córdoba-Sevilla, con Málaga, Jaén, Granada, Cádiz y Huelva.

Esta línea cuenta con una longitud total de 155 kilómetros (desde el enlace con la línea de Alta Velocidad Sevilla-Madrid en el término municipal cordobés de Almodóvar del Río, hasta Málaga capital) y su construcción se dividió en un total de 22 tramos, con un presupuesto total de 2.100 millones de euros.

La línea se construye en doble vía electrificada de ancho U.I.C. (internacional) preparada para desarrollar velocidades máximas de 350 kilómetros por hora.

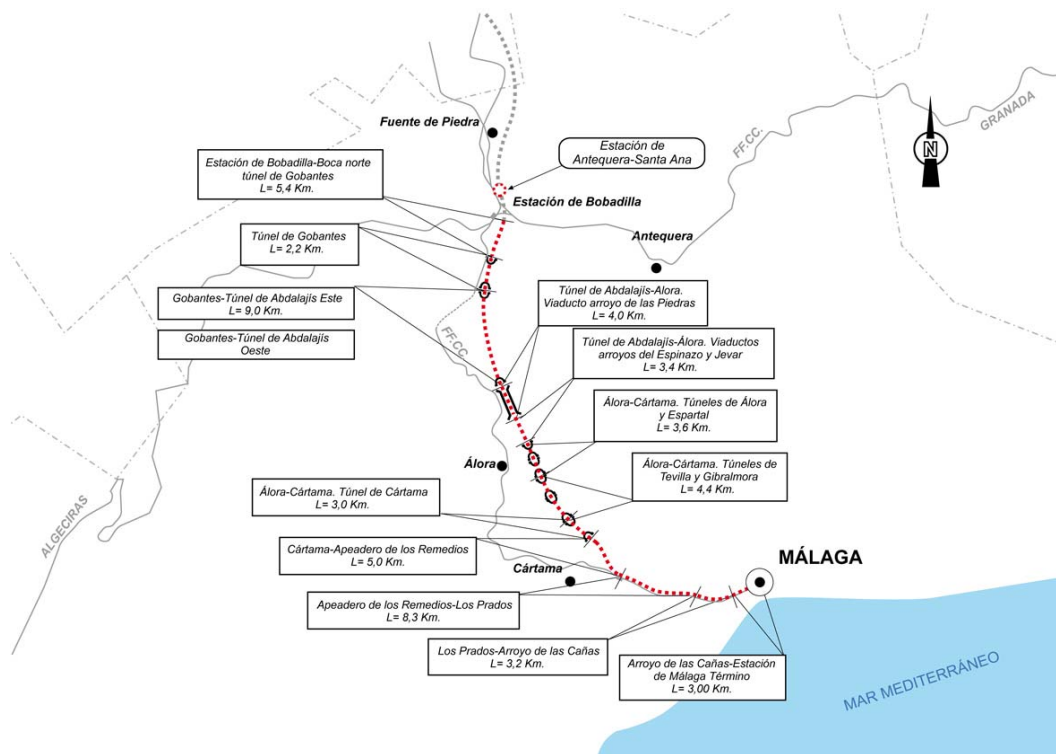


A efectos de su paulatina puesta en servicio, su trazado puede dividirse en tres grandes tramos:

- Almodóvar del Río-Antequera, de 100 kilómetros.
- Antequera-Arroyo de las Cañas, de 49 kilómetros.
- Arroyo de las Cañas-Málaga, de 6 kilómetros.

Túneles de Abdalajís

Por lo que respecta al tramo Antequera-Arroyo de las Cañas, en él se sitúan las mayores obras de ingeniería, tanto la mayor parte de los 19 kilómetros de túneles como de viaductos. Destaca en este tramo la construcción del doble túnel de Abdalajís, que con más de 7 kilómetros de longitud, es el mayor construido en Andalucía.

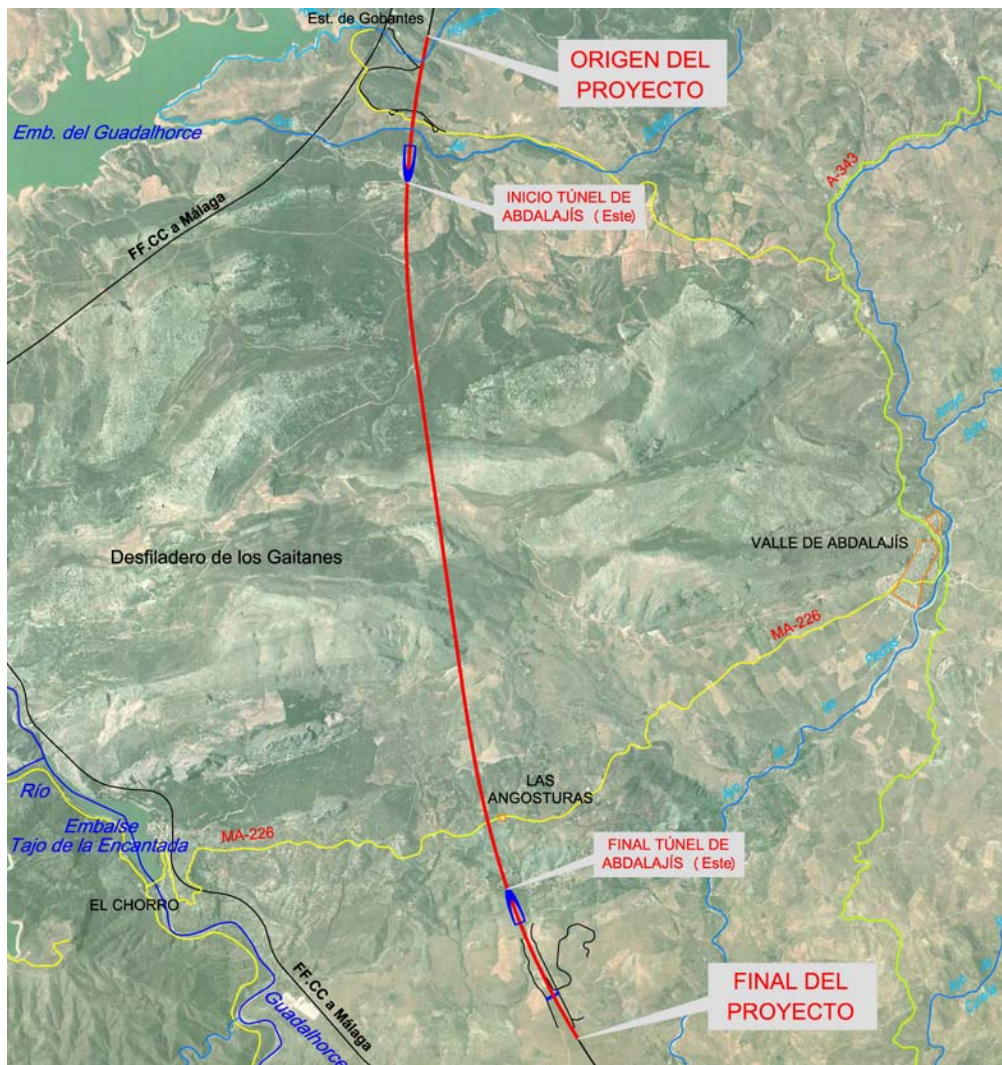


La entrada en servicio de este tramo, supone además acabar con el cuello de botella en vía única de las comunicaciones entre las estaciones de Málaga y Bobadilla, a través del Desfiladero de Los Gaitanes, también conocido como "El Chorro".

Túneles de Abdalajís

2.- Tramo Gobantes – Túnel de Abdalajís Este

Los tramos 12 y 13 de la obra Gobantes-Túnel de Abdalajís, incluyen la construcción de dos túneles paralelos, que discurren por los términos municipales de Antequera y Álora (Málaga), y el acondicionamiento de sus dos bocas. Cada uno de los túneles tiene una longitud de 7.300 metros, entre túnel y falso túnel, atravesando la Sierra del Valle de Abdalajís y la Sierra de Huma.



La obra fue diseñada mediante la tipología bitubo, consistente en dos túneles gemelos de vía única de sección circular, de diámetro libre interior de 8,80 metros. Para su construcción el proyecto fue dividido en dos tramos independientes:



Túneles de Abdalajís

El tramo 12 comprendía la excavación del túnel Este, así como el acondicionamiento de la boca sur, para ubicar todas las instalaciones y servicios auxiliares de las tuneladoras en una superficie de 125.000 metros cuadrados. Finalizada la obra, esta superficie servirá como explanada de emergencia durante la explotación del túnel. Como obras complementarias estaba incluido el acondicionamiento de los caminos de acceso.

Este tramo, ya concluido en lo que respecta a su excavación, fue adjudicado a la unión temporal de empresas 'Abdalajís' formada por las constructoras Dragados, Seli, Tecsca y Jäger, por importe de 117.576.898 euros.

El tramo 13 engloba la excavación del túnel Oeste, y el acondicionamiento de la boca norte, con una explanada de emergencia de 30.000 metros cuadrados sobre el arroyo Salado, el viaducto sobre el arroyo Higuierón, de 125 metros de largo, y un desmonte de 300 metros de longitud y 45 de altura. Este tramo fue adjudicado a la unión temporal de empresas 'Abdalajís Oeste', formada por Sacyr y Somagüe, por importe de 122.834.147,9 euros.

Con anterioridad al comienzo de la excavación fue preciso acondicionar ocho kilómetros de carreteras locales para permitir el transporte de las tuneladoras y la maquinaria del túnel, cifrada en 2.400 toneladas, así como para absorber la alta densidad de tráfico pesado generado por las obras.

Las principales dimensiones de los tramos 'Gobantes-Túnel de Abdalajís Este y Oeste' son las siguientes:

Longitud: 8.970 m.

Long. tubo Este: 7.043 m., más 227 m. de falso túnel; total 7.270 m.

Long. tubo Oeste: 7.067 m., más 230 m. de falso túnel; total 7.297 m.

Radio mínimo en planta: 6.900 metros.

Pendiente máxima del túnel: 16,02 mm/m (descendente dirección Málaga)

3.- Ejecución de los túneles

Proceso de construcción

La ejecución de los dos tubos que componen el túnel se realizó desde la boca Sur, mediante el empleo de dos máquinas tuneladoras para roca, tipo doble escudo, con un diámetro de excavación de 10 metros.

La construcción de ambos tubos supone una longitud total de excavación de 14.000 metros de túnel de sección circular y diámetro libre interior de 8,80 metros, con una sección de 51,4 metros cuadrados cada tubo. La distancia entre ejes varía desde un mínimo de 19,6 metros, en la boca Norte, hasta un máximo cercano a 50 metros, en la parte intermedia del trazado del túnel.

Antes de comenzar la excavación con las tuneladoras se construyeron dos túneles por el método tradicional. El diámetro de dichos túneles es el de la máquina y sus longitudes son 28 metros por la boca Oeste y de 38 metros en la Este.

Su excavación se inició con la ayuda de un paraguas de micropilotes de 30 metros de longitud por boca. Su sostenimiento se realizó con el empleo de una combinación de cerchas, chapas Bernold y hormigón proyectado. La solera se construyó con la misma forma que el trasdós de la dovela base, para así poder deslizar la tuneladora TBM sobre ella.

El montaje de las máquinas se llevó a cabo en la explanada de la boca Sur, en unas camas habilitadas para ello al inicio del emboquille respectivo y se introdujeron ya montadas dentro del mismo empujando con los cilindros auxiliares inferiores contra las dovelas-base.

Una vez introducida la máquina se utilizó una estructura de reacción auxiliar situada en el exterior del emboquille para avanzar hasta el frente, colocando anillos en modo de escudo simple. El sostenimiento y revestimiento del túnel consiste en anillos formados por siete dovelas prefabricadas de hormigón armado de 45 centímetros de espesor y un metro y medio de ancho. Este revestimiento se ha dividido en varias secciones, variando la cantidad de armadura y resistencia del hormigón, según las condiciones impuestas por el terreno atravesado a lo largo del trazado.

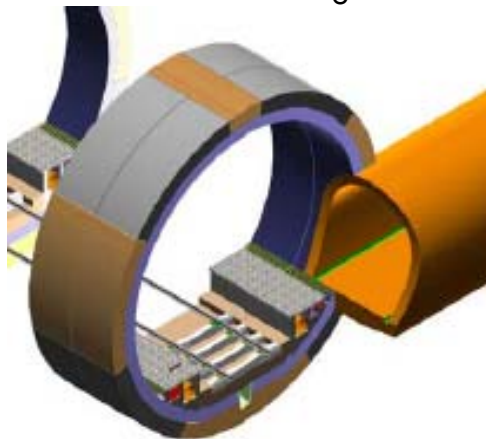
Túneles de Abdalajís

Galerías de Seguridad

Ambos túneles quedan unidos por un total de 19 galerías transversales de seguridad, cada 350 metros, lo que permite la evacuación de un túnel a otro en caso de emergencia o incidencia en alguno de ellos.

Su construcción se acomete desde ambos túneles, correspondiendo a cada uno la mitad de cada galería de conexión. La suma total de las galerías transversales supone una longitud de excavación superior a los 500 metros.

Estas galerías son de sección en herradura, con una altura de 3 metros y una anchura de 2,7 metros y para su construcción no se emplean las tuneladoras sino medios convencionales, dada su escasa complejidad. En estas galerías se alojan los tres centros de transformación, que permitirán el abastecimiento de energía eléctrica durante la explotación de la línea.



En la fase de construcción y por motivos de seguridad para propiciar la evacuación de un túnel en caso de incidente, se han ejecutado una de cada tres de estas galerías, de modo que hubiera siempre una galería a menos de 1.000 metros del frente de excavación.

A la salida de los tubos, éstos se prolongan en falso túnel con una ligera pendiente hacia el exterior. La sección es en herradura, compuesta por una circunferencia de 4,53 metros de radio interior, desde la clave la hasta los hastiales, continuando en línea recta tangente a la circunferencia descrita. El espesor del tramo curvo es constante e igual a 40 centímetros.

Túneles de Abdalajís

Las dos paredes laterales rectas presentan un canto variable de 40 hasta 150 centímetros. La altura de la sección desde las zapatas es de ocho metros. La estructura de los falsos túneles es de hormigón armado. La longitud de los mismos es:

- Boca Norte: 157,44 metros en el Este y 159,28 metros en el Oeste.
- Boca Sur: 69,78 metros en el Este y 70,83 metros en el Oeste.

La construcción total de cada tubo concluirá con la realización de los andenes, el drenaje y las instalaciones ferroviarias. Los andenes son de metro y medio de ancho y están formados por hormigón en masa. Alojan en su interior las conducciones para la posterior instalación de las líneas de comunicación, control y telemando.



4.- Tuneladoras

Los tubos de Abdalajís se han perforado con tuneladoras de doble escudo TBM. Estas máquinas han desarrollado de forma simultánea la excavación y revestimiento proporcionando un notable grado de seguridad y evitando desprendimientos

- La tuneladora del tubo "Este" fue bautizada con el nombre de "La Alcazaba", mientras que la del túnel "Oeste" recibió el nombre de "La Mezquita"
- Cada una de estas máquinas tiene un diámetro de 10 metros y una longitud de 11,89 metros
- Su longitud total, incluido el *back-up* donde se sitúa la cabina de mandos y otras instalaciones, alcanza los 110 metros

La ejecución del doble túnel de Abdalajís se ha realizado con la ayuda de dos máquinas tuneladoras de roca idénticas del tipo de doble escudo TBM. Cada una ha sido asignada a cada uno de los tubos. Para el tubo "Este" fué destinada la máquina bautizada como "La Alcazaba", mientras que para el "Oeste" se emplea la nombrada como "La Mezquita".

Estas máquinas fueron fabricadas en las instalaciones de la empresa Duro Felguera en Asturias y están especialmente indicadas para construir túneles de gran longitud en los que la excavación atraviesa terrenos de muy distinta naturaleza, como es el caso del Macizo de Abdalajís.

Las tuneladoras realizan tanto la perforación como el sostenimiento de la excavación y el revestimiento definitivo de los túneles. Ambas labores pueden ser simultáneas cuando estas máquinas operan en el modo doble escudo, basado en el trabajo de dos escudos unidos mediante gatos hidráulicos que permiten el movimiento telescópico entre ellos.

Partes de la tuneladora

Las tuneladoras de Abdalajís se componen de las siguientes partes principales:

- **La cabeza de corte**, de 10 metros de diámetro, accionada mediante 14 motores eléctricos con una potencia total instalada de 5 MW (megawatios) que mediante variadores de frecuencia permiten el control de los parámetros de giro y par. En la rueda de corte están ubicados 69 cortadores de disco de 17 pulgadas recambiables desde el interior, 64 en la parte frontal de la cabeza, siguiendo la forma de una espiral, y 5 ubicados en el perímetro de la misma, que permiten la sobre-excavación de la sección de avance. Cada cortador puede soportar un empuje máximo de 27 toneladas.
- **El escudo principal o delantero**, de 9.930 mm de diámetro, en cuya parte superior se alojan los *grippers* auxiliares o estabilizadores. Este escudo soporta la cabeza de corte y su accionamiento, siendo este conjunto la parte móvil de la máquina durante su funcionamiento como doble escudo.
- **El escudo telescópico**, de 9.830 mm de diámetro, que permite el movimiento relativo entre los escudos, posibilitando el trabajo en doble escudo.
- **El escudo de grippers o trasero**, de 9.830 mm de diámetro, donde se alojan las zapatas, que sirven para fijar la TBM contra el terreno, y los cilindros auxiliares, así como el erector de dovelas que dispone de un sistema de agarre de dovelas de ventosas de vacío.
- **El empuje principal**, compuesto por 16 cilindros que unen ambos escudos, proporcionando un empuje máximo de 17.088 KN (kilonewton) con un avance máximo de 120mm/m.
- **El empuje auxiliar**, compuesto por 27 cilindros situados en el escudo trasero, capaz de dar un empuje auxiliar ordinario de 117.000 KN y un empuje auxiliar excepcional de 152.500 KN, con un avance máximo de 100mm/m.

Túneles de Abdalajís

Además de estos componentes, las tuneladoras están provistas de una serie de elementos auxiliares, como las sondas de perforación, sistemas de ejecución de paraguas de micropilotes, elementos de inyección de agua y espumas en el frente de excavación y sistemas de detección de gases. Este sistema permite la parada automática de la máquina cuando se alcanzan los límites de concentración de gases previamente establecidos.

Cada tuneladora tiene una longitud de 11,89 metros. Unido a la pieza principal se encuentra el *back-up*, compuesto por una serie de plataformas ensambladas entre sí, que se desplazan arrastradas por la máquina sobre la dovela base.



Túneles de Abdalajís

El *back-up* alberga todas las instalaciones auxiliares necesarias para el funcionamiento de la tuneladora:

- La cabina de mandos.
- Los transformadores eléctricos, armarios de conexión y bobinas de cables.
- Sistemas de ventilación, impulsión y extracción de aire.
- Sistemas de relleno del trasdós de los anillos con gravilla y mortero de cemento.
- Instalaciones de transporte del material excavado al exterior, mediante cinta transportadora.
- Instalaciones de enfermería, comedor y aseos.

La longitud total del conjunto *escudo-back-up* supera los 110 metros.



Túneles de Abdalajís

Funcionamiento

El funcionamiento de una tuneladora de doble escudo permite realizar la excavación y el sostenimiento del túnel al abrigo de un escudo o coraza de acero de forma cilíndrica. Esta coraza sirve de sostenimiento provisional del terreno hasta la colocación del revestimiento definitivo, mediante anillos de dovelas de hormigón prefabricadas. Este sistema proporciona un elevado grado de seguridad para el personal que ha de trabajar en el frente de la excavación ante posibles desprendimientos del terreno, como ha quedado patente a lo largo de los trabajos.

Tras el corte de la roca, la retirada del escombros producido se realiza a través de los cangilones situados en la periferia de la rueda de corte, que recogen el material y, por gravedad, lo descargan sobre la cinta de transporte, cuyo inicio se sitúa en el eje de la rueda de corte.



Para facilitar la evacuación del material excavado y evitar la colmatación de los orificios de entrada de material de la cabeza de corte, se puede inyectar agua o espumas, dependiendo del tipo material de que se trate, a través de los orificios de la cabeza especialmente dispuestos para ello.

Cuando los terrenos atravesados son capaces de resistir la presión que transmiten los *grippers* del escudo trasero, la máquina trabaja como doble escudo y puede simultanear la excavación, con el montaje de los anillos de dovelas. Al tiempo que los cilindros de empuje principal impulsan hacia delante el escudo de cabeza y la rueda de corte realiza la excavación, en el escudo trasero se produce el montaje de un nuevo anillo de sostenimiento al abrigo del mismo. Al poderse efectuar ambas tareas, la obra consigue elevados rendimientos de avance.

Cuando la máquina atraviesa un terreno más débil, la tuneladora pasa a funcionar a modo de escudo simple y no es posible realizar a la vez el trabajo de montaje de anillos de dovelas.

Túneles de Abdalajís

Las tuneladoras son abastecidas mediante trenes que circulan por la vía simple provisional que se va montando desde el propio *back-up* según el avance de las obras. Estos trenes se utilizan para el abastecimiento de dovelas, de los materiales de relleno del trasdós de los anillos y demás materiales, y para el transporte del personal. Para permitir el cruce de estos trenes se han ido colocando apartaderos en varios puntos del interior de la excavación.

El escombros resultante de la perforación es evacuado mediante una cinta transportadora de 1,2 metros de ancho, capaz de transportar 1.500 toneladas a la hora a una velocidad máxima de 3,2 metros por segundo.

Cada túnel dispone de su propia cinta transportadora, que extrae el material hasta la boca del túnel donde es vertido sobre una cinta transversal, común para ambos túneles, que lo conduce a un vertedero único. En caso de avería de la cinta transversal y para no detener la excavación de los túneles, se instaló una cinta by-pass que deposita el material en una zona de vertido de la explanada, de donde se carga en camiones y se transporta al vertedero.



Instalaciones auxiliares

Junto a la boca Sur de los túneles se localizan las instalaciones y los equipos auxiliares, sobre una superficie de 81.018 metros cuadrados. En este lugar se sitúa además el parque de acopio de dovelas para el revestimiento del túnel, con una capacidad total aproximada para ambos túneles de 1.000 anillos.

Una de las principales instalaciones auxiliares es la subestación eléctrica para el abastecimiento de energía al túnel. La estación tiene una potencia de 22 MW que se abastece mediante una nueva línea de 66 KV (kilovoltios) de 1.400 metros de longitud. La electricidad se transforma a 22 KV para la alimentación de las máquinas, realizando el transporte de esta tensión entre la subestación y

Túneles de Abdalajís

el *back-up* de la tuneladora, donde realiza una segunda transformación al voltaje requerido por cada equipo.

Como energía alternativa y medida de seguridad, existen grupos electrógenos que se encargan de mantener la corriente de los sistemas de emergencia en caso de corte de suministro eléctrico, para la iluminación a lo largo de cada túnel, de la tuneladora y su *back-up*, para los ventiladores instalados en el frente y para la comunicación telefónica con el exterior.

El sistema de ventilación de los túneles es otro importante equipo auxiliar. Durante la excavación es necesario mantener constantemente ventilado el frente mediante la impulsión de aire a través de un ventilador por cada uno de los túneles, situados en cada una de las bocas. El transporte de aire al frente se realiza mediante una tubería flexible de 2.500 mm de diámetro. Una vez en el *back-up*, el aire se reimpulsa y se distribuye llegando hasta el frente de perforación.

Este sistema se completa con un sistema de aspiración de aire desde el frente de excavación hasta el final del *back-up*, lugar donde este aire es arrastrado por la corriente de retorno hacia el exterior del túnel, con una velocidad superior a los 0,5 metros por segundo, regulándose la potencia de los ventiladores exteriores como consecuencia del avance de las obras.

Los equipamientos auxiliares se completan con una cinta transportadora del material excavado, que recoge los escombros procedentes de las cintas transportadoras de las tuneladoras. Esta cinta transportadora exterior discurre transversalmente al eje del túnel, desde la explanada Sur hasta el vertedero. Su diseño es de tipo convencional sobre rodillos, con una longitud de 503 metros y una capacidad de 2.800 toneladas a la hora.



Túneles de Abdalajís

La existencia de esta cinta, dada la cercanía del vertedero, evita el constante tránsito de camiones, con el consiguiente ahorro energético.

Para el vertido del material excavado del túnel se construyó un vertedero de una superficie de 108.713 metros cuadrados, con una capacidad de unos dos millones de metros cúbicos de tierra y una altura máxima de 40 metros.

Principales características de las tuneladoras:

Datos generales	
Marca y Modelo	MHI-Robbins Serie 320 tipo doble escudo para roca dura
Potencia total instalada (Kw)	6.400
Diámetro (m)	10,00
Longitud de la TBM (m)	11,89
Peso del escudo (t)	1.300
Accionamiento	
Accionamiento de la cabeza corte y N° de motores	Eléctrico mediante 14 motores de frecuencia variable
Empuje máximo soportado por el rodamiento (KN)	197.200 (Carga estática axial)
Vida útil del rodamiento (h)	15.000
Velocidad máxima de los motores (rpm)	2.065
Par motor a la máxima velocidad (KNm)	1.620 kNm
Rueda de Corte	
Herramientas de corte	64 Cortadores de disco + 5 cortadores adicionales para sobre-corte, todos de 17'' de diámetro
Velocidad de rotación (rpm)	0-6
Par máximo	28.000 kNm
Potencia Instalada en la cabeza de corte	4.900 kw (14x350)
Escudos	
Numero de escudos	3
Diámetro escudo delantero (mm)	9.930
Diámetro escudo telescópico (mm)	9.830
Diámetro escudo de cola (mm)	9.830
Empuje principal	
Empuje máximo recomendado en la cabeza de corte funcionando (kN)	17.088 (64x267)
N° de cilindros	16
Velocidad de extensión de propulsión máxima (mm/min.)	120
Empuje Auxiliar	
N° de cilindros	27
Empuje Auxiliar Total (kN)	117.000
Empuje Auxiliar excepcional (kN)	152.500
Velocidad máxima de extensión con todos los cilindros (m/min.)	100
grippers	
Presión de anclaje (Mpa)	3,3
Cinta transportadora de escombros	
Anchura (m)	1,2
Capacidad (t/h)	1.500
Velocidad máxima (m/s)	3,2

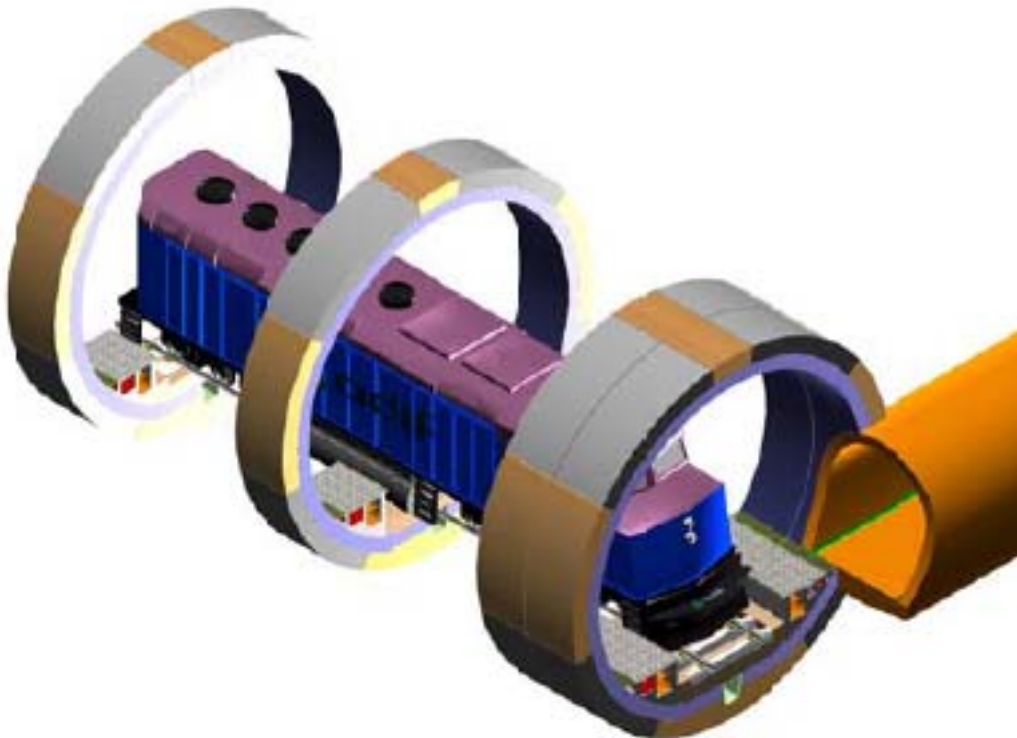
5.- Revestimiento interior

A medida en que se avanzaba en la excavación de la sección del túnel, se ha colocado un revestimiento de anillos prefabricados formados por siete dovelas de hormigón armado de 45 centímetros de espesor y metro y medio de ancho.

Este revestimiento se compone de una mezcla de hormigón armado, con redondo estructural más una adición de fibras de acero para mejorar la resistencia en las esquinas y bordes.

Por la complejidad estructural y la variedad litológica de la Sierra de Valle de Abdalajís se han dividido estos trabajos en cinco diferentes secciones de revestimiento, según las condiciones impuestas por el terreno atravesado a lo largo del trazado. Se han empleado cuatro tipos de dovelas de hormigón y acero, tipo A, B, C y H de menor a mayor resistencia.

Para poder adaptar la forma de los anillos de dovelas a la excavación y planta del túnel, las dovelas son de conicidad alternativa a derecha e izquierda y llevan a lo largo del borde una junta de goma para proporcionar estanqueidad entre dovelas y anillos.



Túneles de Abdalajís

Las dovelas se unen entre sí mediante tornillos. Los anillos, a su vez, se fijan entre sí con conectores que ayudan al centrado de las dovelas y facilitan su correcta colocación. Se calcula que para ambos tubos se colocarán unos 9.400 anillos y alrededor de 65.900 dovelas.

Para la fabricación de las dovelas se instalaron dos plantas: una en Algeciras (Cádiz) y otra en la localidad malagueña de Pizarra. Estas plantas de prefabricado han producido una media de 20 anillos de dovelas diarios. Cada uno de estos anillos tiene un peso de unas 50 toneladas. Desde su fabricación, las dovelas alcanzaban su resistencia característica a los siete días. Su transporte hasta la campa de acopio junto a la boca Sur no se producía hasta los 28 días de su construcción, para evitar posibles daños de manipulación y/o de transporte.



La impermeabilización del revestimiento mediante anillos prefabricados será reforzada con la construcción de anillos interiores de hormigón armado. Estos nuevos anillos vendrán a reforzar dos zonas de unos setecientos metros de longitud por cada uno de los túneles donde más se necesitan para conseguir la estanqueidad total de la obra y evitar la presencia de agua.

La impermeabilización total es además un requisito imprescindible para garantizar que los túneles están aptos para el funcionamiento de la explotación ferroviaria de la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga.

6.- Compromiso Medioambiental

Una de las máximas prioridades de Adif en el desarrollo de su actividad de construcción de infraestructuras ferroviarias es su compromiso con el entorno natural, el cual forma parte de su política de Responsabilidad Social. Por ello se han destinado 12,8 millones de euros a garantizar la integración ambiental de la obra, mediante la adopción de medidas de protección de la fauna, la vegetación y el sistema hidrológico, así como otras destinadas a la recuperación ambiental y la integración paisajística.

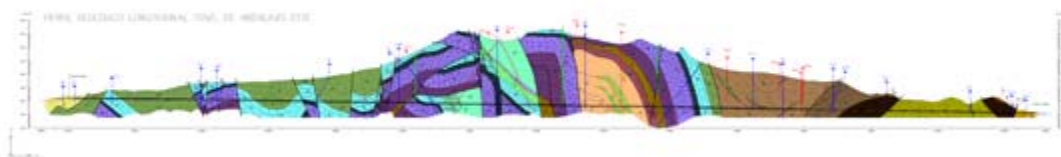
Protección del Sistema Hidrológico

El doble túnel de Abdalajís se localiza en la Cordillera Bética, aproximadamente a 20 kilómetros de Antequera, dentro de los términos municipales de Antequera y Álora (Málaga). El trazado, que sigue aproximadamente una orientación nortesur, discurre por los parajes de Sierra Llana, Sierra del Valle de Abdalajís, Sierra de Huma y Barrio de las Angosturas.

La construcción de los túneles de Abdalajís es una obra respetuosa con el medio ambiente, como todas las obras del Ministerio de Fomento y las que desarrolla Adif, ya que los trabajos han seguido de manera estricta las directrices del Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga y la posterior Declaración de Impacto Ambiental.

Esta información contribuyó a planificar un sistema de excavación lo más segura posible atendiendo a la normativa de prevención de riesgos laborales y a preparar un sistema de drenaje y evacuación de aguas desde el interior de los túneles hacia el Arroyo del Quinto, afluente del río Guadalhorce.

Estas operaciones se realizaron mediante el empleo de balsas de decantación y el posterior control de calidad de aguas para garantizar la ausencia de elementos contaminantes en el vertido.





Túneles de Abdalajís

Las aguas evacuadas han servido en su totalidad para riegos directos, así como para recargar acuíferos de la Cuenca del Guadalhorce, muy castigados por la sequía durante los dos últimos años.

Por otra parte y tal y como aconsejaban los estudios previos, Adif dispuso desde el verano pasado un sistema alternativo de suministro de agua en camiones cisterna a la población del municipio de Valle de Abdalajís, y a la barriada antequerana de La Fresneda, ya que algunas de las fuentes que abastecen a estas poblaciones habían visto disminuir su caudal a medida que avanzaban las obras de construcción de los túneles.

Adif viene suministrando, hasta la próxima entrada en servicio de dos nuevos pozos de agua potable realizados por esta empresa pública, en torno a 450.000 litros diarios de agua en camiones cisterna a las localidades mencionadas.

Estudios previos y elección del trazado

En la región se definieron varias unidades de acuíferos, de las cuales el de la Sierra de Huma y el de la Sierra de Valle de Abdalajís eran los que podían tener mayor afección por la excavación del túnel.

Se trata de acuíferos de naturaleza calcárea estructurados en diferentes escamas, cuya permeabilidad se debe a la fisuración y a la gran carstificación del material.

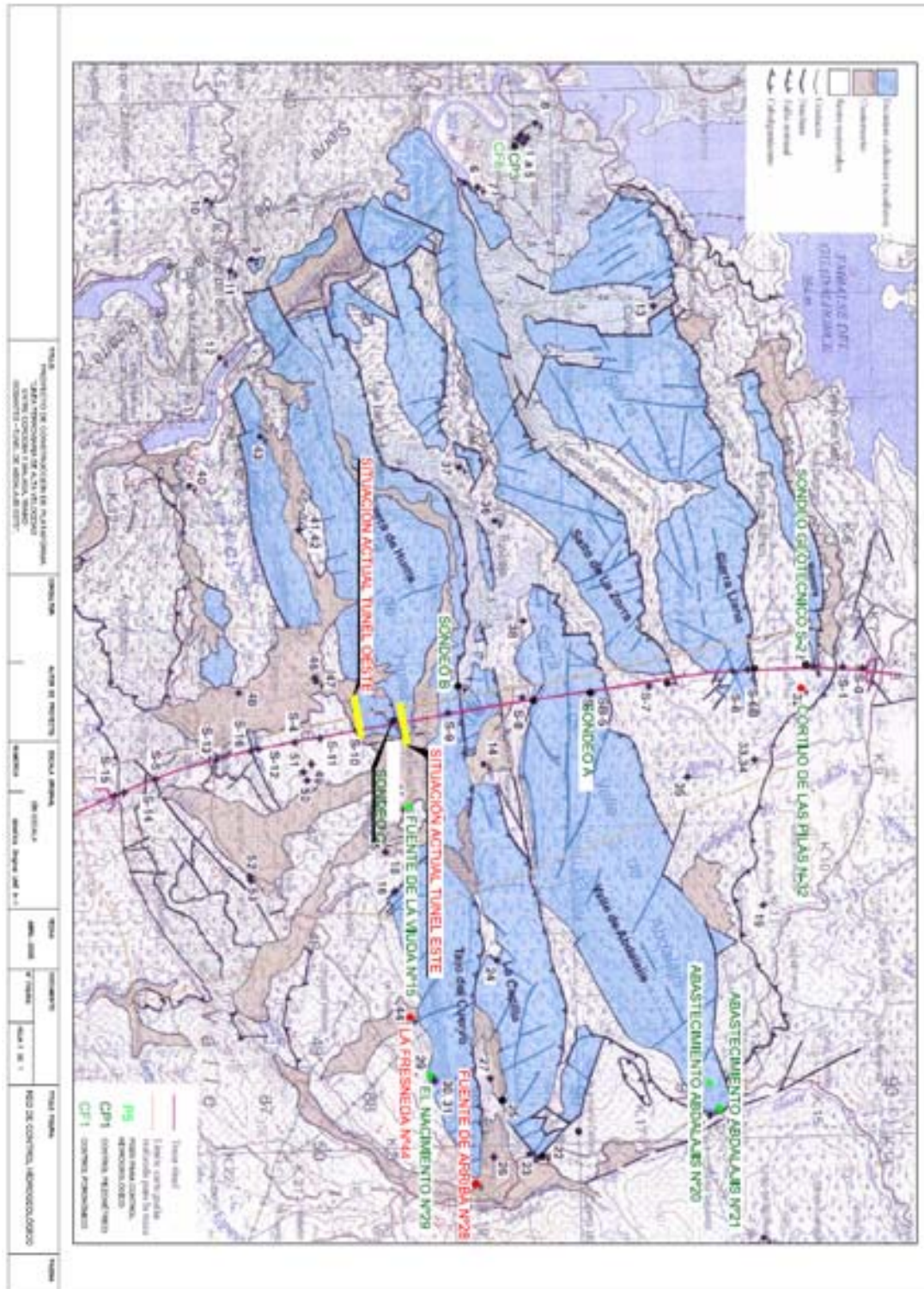
El 30 de abril de 1999 la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes del Ministerio de Fomento aprobó la Orden para realizar el Estudio Informativo de la Línea Ferroviaria de Alta Velocidad entre Córdoba y Málaga.

El Estudio mencionado planteaba dos opciones, eligiéndose el paso por la Sierra del Valle de Abdalajís, y evitando acercarse al Torcal de Antequera. Esta segunda opción suponía la ejecución de túneles más largos (superiores a los 8 kilómetros de longitud cada uno) y el necesario drenaje del acuífero, lo cual suponía un impacto mucho mayor.

Tras el cumplimiento de esta tramitación se redactaron los proyectos constructivos por la Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento, siendo aprobados el 31 de septiembre de 2001. Estos proyectos tuvieron en cuenta la

Túneles de Abdalajís

situación del macizo kárstico que habían de atravesar los tubos y el conocimiento preciso de los acuíferos, a la vista de los distintos estudios mencionados.



Túneles de Abdalajís

Durante la fase de redacción del Proyecto Constructivo de los Túneles de Abdalajís se abordó el estudio hidrogeológico sobre la afección de los acuíferos atravesados y se desarrolló el preceptivo Plan de Vigilancia Ambiental.

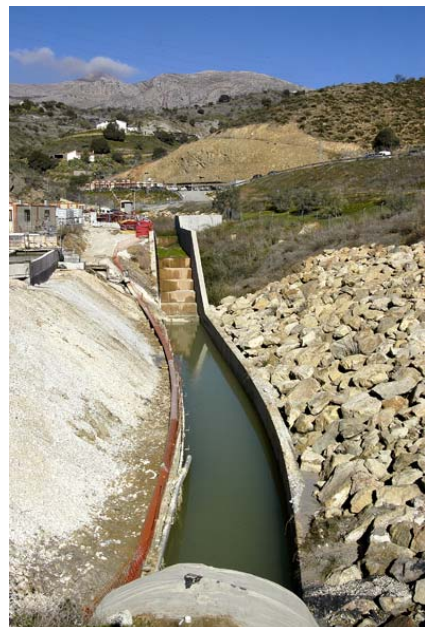
Al inicio de las obras y en cumplimiento del Plan de Vigilancia Ambiental establecido en el Proyecto, se inicia una campaña de seguimiento de los niveles de los acuíferos, mediante la realización de sondeos hidrogeológicos para el control de la variación de los niveles piezométricos, y la instalación de las estaciones de aforo en los manantiales de la zona.

Tras la finalización de los trabajos de campo se comenzaron a registrar datos del comportamiento de las unidades acuíferas, en octubre de 2003. El objeto de estos elementos de control era determinar las variaciones de los acuíferos y establecer si se producirían disminuciones importantes, si éstas eran causadas por la construcción de los túneles o si eran de origen natural (sequía), todo ello recogido en el Programa de Vigilancia Ambiental del Proyecto Constructivo.

Agua drenada

El 23 de marzo de 2005 se produce la primera de las afecciones en el acuífero, en el proceso de excavación del túnel Este, cuando se había alcanzado la mitad de la excavación. Ese día hubo una gran afluencia de agua con arrastres al túnel desde el frente de excavación, pero los sistemas de prevención de riesgos funcionaron con total precisión.

A partir de ese momento y durante el espacio de un mes, los aforos indicaban unos caudales iniciales desaguados de unos 300 - 400 litros por segundo, tal y como predijo el Estudio Informativo. Con posterioridad, y como efecto de los trabajos de impermeabilización, los caudales fueron progresivamente descendiendo, si bien el drenaje continuó. Por su parte, las afecciones en el túnel Oeste no han sido tan importantes. Con el paso del tiempo el caudal simultáneo de ambos túneles fue disminuyendo hasta la actualidad en que se sitúa en 50 litros/segundo.



Túneles de Abdalajís

Se revolió que estas aguas fuesen vertidas en el Arroyo del Quinto, un afluente del Río Guadalhorce, situado en el término municipal de Álora.

Desde ese momento y tras una serie de controles previos mediante la utilización de balsas de decantación, el agua ha sido vertida como eficaz complemento a los regadíos del Valle del Guadalhorce, en un año de particular escasez por la sequía existente. Parte de este agua ha servido para recargar los acuíferos de la cuenca de este río igualmente castigados por la sequía.

Control de calidad del agua y análisis periódicos

El respeto al medio ambiente y el cumplimiento estricto de la normativa legal vigente es otra de las constantes de esta obra. Ambas actuaciones han hecho



posible que el drenaje de las aguas desde el interior de los túneles al cauce del Arroyo del Quinto se haya realizado con total garantía. El sistema empleado comenzaba en el interior de los tubos desde los cuales el agua era recogida por una canaleta central, pasando a continuación a un sistema de decantación.

Las balsas de decantación se localizan a la salida de ambos túneles y tienen un sistema de depuración que actúa en tres fases sucesivas. En una primera fase se realiza

el depósito de materiales sólidos arrastrados por el agua. En la segunda, se produce la retención de todas las sustancias de densidad menor que la del agua. En la tercera y última fase se produce la decantación de sólidos en suspensión, fundamentalmente arenas.

Previo a la evacuación del agua al arroyo una vez realizadas las tres fases, se lleva a cabo un control de su calidad, al amparo de lo requerido en la DIA (BOE 239/2000 de 5 de octubre), y en la normativa vigente sobre



Túneles de Abdalajís

vertidos de agua. Este análisis ha sido realizado por un laboratorio homologado e independiente de las empresas constructoras de los túneles.

Todo este proceso está controlado por el mencionado programa de toma de muestras y análisis periódicos del agua evacuada, al objeto de identificar y controlar la posible presencia de elementos y/o productos contaminantes. Todos los ensayos realizados han proporcionado resultados inferiores a los parámetros establecidos en la normativa legal vigente (Real Decreto 606/2003).



Este programa de control periódico se encuentra recogido en una 'Declaración de Vertido' previa al inicio de los mismos. Estas actuaciones han hecho posible que los aportes de agua procedentes de los túneles al Arroyo del Quinto queden libres de sustancias contaminantes.

Para contrastar los resultados de estos análisis periódicos con otros, Adif solicitó a Cuencas Mediterráneas de Andalucía la realización de tomas y mediciones independientes, al objeto de corroborar los datos obtenidos.

Suministro de agua alternativo a Valle de Abdalajís

Tras el inicio del drenaje del macizo, se observó una disminución de algunos de los caudales surgentes en la zona (fuentes de 'El Nacimiento', 'Atanores' y 'La Fresneda'), que sirven de abastecimiento a la barriada de La Fresneda (Antequera), y al municipio de Valle de Abdalajís. Sin embargo, el período de extrema sequía que había en ese momento, no permitía discernir el grado de



Túneles de Abdalajís

afección a dichos manantiales debido a la excavación de los túneles. Tras las recientes lluvias ha comenzado a manar agua nuevamente de estas fuentes, señal evidente de que se están recuperando de forma natural los niveles piezométricos de los acuíferos.

Cabe destacar que los puntos de abastecimiento habituales del municipio citado, la conducción procedente del manantial 'Los Bermejales' y de los pozos hidrogeológicos 'Abdalajís 1' y 'Abdalajís 2', no se han visto afectados por las obras de los túneles, al pertenecer a una unidad acuífera distinta.

Para paliar esta situación se mantuvieron distintas reuniones con los ayuntamientos de Valle de Abdalajís y Antequera, acordándose como solución inmediata la realización de nuevos pozos de captación de agua para abastecimiento y regadíos, hasta la recuperación de los niveles habituales de los acuíferos y el restablecimiento de las condiciones iniciales.

De manera provisional, para garantizar el suministro a la población, se puso en marcha el abastecimiento de agua potable mediante el transporte de camiones cisterna desde la red de la Empresa Municipal de Aguas del Torcal de Antequera. Estas actuaciones se realizan con cargo a las obras de los túneles. El suministro en camiones cisterna se realizó, desde el primer momento, de acuerdo con la demanda del municipio, con un aporte de 450.000 litros diarios.

Adif inició distintos sondeos que garantizaran un aporte de agua estable al municipio, concluyendo estos trabajos a finales del pasado mes de diciembre. Los dos nuevos pozos construidos por Adif, con el asesoramiento del catedrático de Hidrogeología de la Universidad de Almería, están situados cerca del depósito municipal de abastecimiento existente para suministro de agua de la citada localidad.

Uno de estos pozos se empleará como fuente de abastecimiento principal para el municipio, mientras que el otro quedará en reserva. El pozo principal cuenta con un caudal más que suficiente para garantizar el consumo de la localidad.

Las primeras estimaciones sobre el agua de los nuevos pozos y a falta de análisis más concluyentes, indican que es de la misma calidad que la que ha sido suministrada al municipio de Valle de Abdalajís durante los diez últimos años.



Túneles de Abdalajís

Actualmente Adif ha instalado la bomba de extracción y se están concluyendo los trabajos que permitan la utilización de estos nuevos pozos. El suministro de agua en camiones cisterna continuará hasta la entrada en servicio de los nuevos sondeos, que harán innecesario el citado transporte.

Otras medidas adoptadas

Protección de la vegetación

- Protección de todos los ejemplares vegetales que lindan con la zona de obras para evitar daños debidos a movimientos de tierras, voladuras, etc.
- Revegetación de todos los taludes, tanto los de plataforma como los de la superficie destinada a acoger la explanada de emergencia durante la fase de explotación y las zonas de acopio, así como aquella superficie del vertedero donde se ubiquen de forma definitiva los materiales excedentes de la obra.

Protección de la fauna

- Estudio faunístico en el que se detallan las principales zonas de reproducción, alimentación y cría de las distintas especies, así como los corredores por donde la fauna efectúa de forma habitual sus desplazamientos.
- Elaboración de un calendario en el que se establecen limitaciones temporales para la realización de voladuras, limpieza y desbroce del área para evitar afecciones a los animales durante los periodos de cría y nidificación, y que corresponde con el periodo comprendido entre los meses de enero y agosto.
- Medidas destinadas a preservar las especies animales protegidas y las zonas de interés faunístico, áreas de nidificación, refugio o campeo, de las perturbaciones o afecciones inherentes a la fase de obras.

Recuperación ambiental e integración paisajística y ecológica

- Las medidas de integración paisajística están encaminadas al tratamiento de las zonas visualmente más frágiles, teniendo en cuenta la visibilidad resultante desde puntos estratégicos y exteriores al tren y la incidencia de los distintos elementos de la obra (falso túnel, vertedero, etc.).
- Para la revegetación de taludes se han tenido en cuenta los criterios fijados en el Estudio de Impacto Ambiental, y se han clasificado los taludes en varias tipologías de revegetación en función de elementos tales como pendiente, tipo de sustrato, microclima existente, entre otros, de forma que para cada clase se han definido las especies óptimas y el método de revegetación más adecuado.
- Se han definido y valorado ambientalmente todos los aspectos relativos a la gestión de las tierras sobrantes de la excavación, de forma que se ha previsto su utilización en la propia obra, reduciendo al máximo el volumen de materiales destinados a vertedero.

Túneles de Abdalajís

VERTEBRADOS MÁS RELEVANTES PRESENTES EN EL ENTORNO

ESPECIE	LOCALIZACIÓN EN EL ÁMBITO DEL TRAZADO	HÁBITAT
ÁGUILA REAL	Ave solitaria que se alimenta de mamíferos, aves y reptiles, en el entorno del estudio	Habita en roquedos como laderas, cornisas o cortados rocosos
ÁGUILA PERDICERA	Utiliza el ámbito de estudio para alimentarse, haciéndolo principalmente de conejos.	Habita en montañas de relieve escabroso y en general poco forestadas.
BUHO REAL	Utiliza el ámbito de estudio para cazar, ya que su principal presa es el conejo.	Habita preferentemente en roquedos aunque también puede vivir en zonas esteparias.
CABRA MONTES	Utiliza el inicio del trazado como paso para realizar sus desplazamientos.	Habita en la montaña
ZORRO	Todo el ámbito	Ocupa gran diversidad de hábitat.
GATO MONTÉS	A lo largo del trazado	Zonas boscosas y zonas húmedas, viñedos y barbechos.
MURCIÉLAGOS	Cueva Mina del Manrrubio y cueva Higuerones.	Suspendidos cabeza abajo sujetos al techo de las cuevas.
TEJÓN	En las zonas más próximas a la boca del túnel donde abunda el monte bajo	En bosques, monte bajo, páramos, piornales, etc.

Túneles de Abdalajís

El Plan de Obra tiene en cuenta las épocas de reproducción y cría de las especies más emblemáticas para, de esta forma, minimizar el impacto sobre ellas.

ESPECIES	PERIODO DE CELO Y CRÍA											
	MESES											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ÁGUILA REAL			■	■	■	■	■	■	■			
AGUILUCHO CENIZO						■	■	■	■			
BÚHO REAL		■	■	■								
ÁGUILA PERDICERA	■	■	■	■	■	■	■	■				
CULEBRA BASTARDA			■	■	■							
LAGARTO OCELADO				■	■	■						
CABRA MONTÉS				■	■	■	■	■				
COMADREJA					■	■	■	■				
GARDUÑA						■	■	■	■			
GINETA			■	■	■	■						
TEJÓN			■	■	■	■	■	■	■			
ZORRO	■	■										
MURCIÉLAGOS				■	■	■	■	■	■			