MINISTERIO DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

CARACTERÍSTICAS GENERALES

TÚNELES

Longitud	28.377	m
Diámetro excavación	9,45	m
Diámetro interior	8,50	m
Separación entre ejes	30	m

MATERIAL EXCAVADO

BOCA SUR:		
Túnel 1	1.054.350	m^3
Túnel 2	940.270	m^3
BOCA NORTE:		
Túnel 3	940.270	m^3
Túnel 4	1.054.350	m^3

MATERIAL RECICLADO

Fabricación de dovelas, plataformas y rellenos varios	22% del total

TRAZADO

Radio mínimo	8.500	m
Radio máximo	15.000	m

REVESTIMIENTO

Espesor	0,32	m
Volumen	15,2 m^3/anillo (9,48 m^3/m de túnel)	
Acero	90 kg/m^3 de hormigón	
Nº total anillos	35.472	
Nº total dovelas	248.304	
Volumen relleno de mortero	aprox. 212.832	m^3

MINISTERIO DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo está condicionado por la necesidad de un plazo de ejecución y el causar la mínima afección posible al medio ambiente. Estas limitaciones excluyen la utilización de explosivos en la excavación y el realizar ésta por diversos puntos intermedios mediante pozos y galerías de ataque.

Teniendo en cuenta lo anterior, el método adoptado como más conveniente utiliza cuatro tuneladoras de roca extradura para excavar los dos túneles, atacando desde sus cuatro bocas. La sección circular de cada uno de estos dos túneles paralelos tiene 8,50 m de diámetro libre, mantienen entre sí una separación de 30m entre ejes y su longitud total es de 28,4 km.

Al tener que atravesar fallas de materiales poco resistentes y prever situaciones de bloqueo de las máquinas, el tipo de las tuneladoras es con doble escudo y capacidad de empuje sobredimensionada.

EXCAVACIÓN CON TUNELADORAS

Las características de la geología de la Sierra de Guadarrama, puesta de relieve en los ensayos, indica una gran mayoría de rocas duras y abrasivas, cuya excavación puede hacerse con dos tipos diferentes de tuneladora de roca dura (TBM).

El primero, con TBM dotada de sistemas convencionales auxiliares para el sostenimiento, y posterior revestimiento del túnel con hormigón colocado "in situ". El segundo, con TBM de ***"doble escudo"****, o sea, máquina albergada dentro de una coraza metálica, que le permite simultanear la excavación con la colocación de un revestimiento prefabricado que sirve de sostenimiento del terreno.*

Las máquinas del primer tipo, a pesar de las mejoras incorporadas en sus sistemas para facilitar las labores de sostenimiento, no permiten simultanear la excavación con el revestimiento final del túnel, tanto sea prefabricado como moldeado "in situ".

Al no existir en la Sierra de Guadarrama problemas relacionados con la deformación y estallido de la roca por profundidad elevada, en la excavación pueden utilizarse máquinas de "doble escudo", que presentan ventajas:

- *Colocación de anillos prefabricados, generalmente de hormigón armado, como elementos básicos de sostenimiento, con un sistema de instalación integrado en el conjunto de la máquina.*
- *Utilización de equipos de reconocimiento y tratamiento del terreno incorporados en la propia TBM.*
- *Rapidez de ejecución, ya que la máquina puede colocar el revestimiento de forma simultánea a la excavación.*

La única limitación de un "doble escudo" reside en la imposibilidad de excavar trazados en curva con radios menores de 50 diámetros, aproximadamente, caso que no se da en un túnel ferroviario de alta velocidad.

EXCAVACIÓN CON TUNELADORA DE DOBLE ESCUDO

En roca de competencia media, e incluso medio-baja, el avance se hace con el escudo delantero a favor del empuje creado por la reacción de los "grippers" o codales hidráulicos contra las paredes de roca, lo que permite excavar y, al mismo tiempo, colocar el revestimiento prefabricado con

el escudo trasero. Hecho esto, se recogen los codales hidráulicos y el equipo de escudo desplaza la máquina a la posición de inicio de un nuevo ciclo. Con ello se logran los ritmos máximos posibles de avance.

En roca de baja competencia, el empuje no puede hacerse por reacción de los codales hidráulicos contra las paredes, y por ello se mantienen recogidos. La máquina trabaja como un escudo simple, es decir, generando el empuje por presión de los cilindros perimetrales contra el revestimiento ya colocado, protegiendo toda la excavación con el escudo metálico que se desliza entre la pared excavada y los anillos del revestimiento. El ciclo de avance tiene dos tiempos: excavación y posterior colocación del anillo de revestimiento; en este modo de excavación el rendimiento se reduce.

Finalmente, la protección metálica que constituye la coraza o escudo permite el paso, sin excesiva dificultad, de la práctica totalidad de las fallas, excepto en casos como el de la falla de la Umbría u otros similares, en los que puede requerirse el tratamiento previo del terreno.

RELLENO DE TRASDÓS

Terminado el proceso de colocación de dovelas, se procede al relleno del hueco entre el trasdós de las dovelas y el terreno, mediante la inyección de lechadas, morteros y hormigones finos, según las dimensiones del espacio existente. Este macizado contribuye tanto a la resistencia estructural como a la reducción de posibles filtraciones.

MINISTERIO DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

TUNELADORAS UTILIZADAS

Las tuneladoras (TBM) que se emplean en la excavación de los Túneles de AV de Guadarrama son muy similares en sus características esenciales, aunque presentan pequeñas diferencias.

CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES

Cabeza de corte

- *Diámetro de excavación: 9.500 mm*
- *Longitud de los escudos de 15 a 16 metros*
- *Estructura de cabeza de formas planas con aberturas periféricas de entrada de material a los correspondientes cangilones que alimentan la cinta extractora.*
- *Accionamiento mediante motores eléctricos con variación de frecuencia. Para las condiciones normales de trabajo el par de giro nominal oscila entre las 600 t x m y las 2.100 t x m, pudiendo alcanzar un par máximo de desbloqueo del orden de 2.600 t x m.*
- *Herramientas de corte de simple disco de 17" (432 mm) de diámetro, para un empuje de 26,7 t/ud, recambiables desde el interior de la máquina. La penetración máxima prevista es de 100 mm/min.*
- *El diseño de las máquinas incorpora el nuevo sistema de desplazamiento axial de la cabeza, del orden de 200 mm, para hacer sobrecortes que fueran necesarios en zonas de fallas.*

Cuerpos del escudo y erector de dovelas

- *El cuerpo o escudo delantero lleva los cilindros de empuje normal para el avance, así como los estabilizadores del escudo y los sistemas de contrarrotación de la cabeza.*
- *El cuerpo o escudo telescópico va dotado de los cilindros necesarios para una carrera de apertura del orden de los 1.500 mm.*
- *El cuerpo que soporta los "grippers" o codales hidráulicos y el sistema de empuje auxiliar contienen los elementos del sistema hidráulico de fijación de la máquina, con presión de los codales sobre el terreno del orden de los 40 kp/cm² más los gatos del equipo auxiliar, con un empuje máximo que puede alcanzar las 10.000 t, para el eventual desbloqueo de la tuneladora.*

- *El desplazamiento del escudo se realiza mediante el empuje de gatos hidráulicos que apoyan sobre las dovelas ya montadas. El escudo lleva incorporados 26 gatos hidráulicos con sus correspondientes zapatas de 700 x 300 mm. La fuerza total de cada gato es de 4000 kN, lo que representa un empuje máximo de unos 104.000 kN sobre el anillo ya montado.*
- *La parte de cola del escudo posee un sistema de juntas de cierre para limitar el relleno del trasdós de los anillos. El erector de las dovelas de los anillos prefabricados de hormigón armado, de 320 mm de espesor, usa un sistema de agarre por ventosas de vacío.*

Otros elementos e instalaciones auxiliares

- *Sondeos inclinados de reconocimiento.*
  La TBM va equipada para realizar sondeos con un ángulo máximo de unos 7° respecto del eje de la máquina y con un diámetro de 50 a 70 mm, a través de orificios practicados en el escudo, de un diámetro de 100 mm, y repartidos en el perímetro del mismo, pudiendo formar abanicos troncocónicos para el reconocimiento y tratamiento del terreno.
- *Sondeos horizontales de reconocimiento.*
  Pueden hacerse paralelos al eje de la máquina a través de los orificios de las herramientas de cabeza y con la máquina parada. Este dispositivo se usa, en caso necesario, con sondas de rotación para obtención de testigos, dotadas de varillaje de duraluminio para evitar daños en la cabeza en caso de que se produjeran pérdidas de varillaje.
- *Sistemas de relleno del trasdós de anillos.*
  La dovela de solera se asienta sobre un "mortero seco" y el relleno restante se hace, bien por inyección de áridos con adición posterior de lechada de cemento, bien por bombeo de mortero.
- *Transporte de escombro desde el frente de trabajo al exterior.*
  Se realiza mediante una cinta transportadora con capacidad de 1.250 t/h. Esta solución ofrece las máximas garantías para el cumplimiento de plazos, al evitar las incidencias del transporte sobre vía que, en túneles de longitud mayor de 5 Km, suele afectar de forma importante a los rendimientos.

PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LAS TUNELADORAS UTILIZADAS EN LA EXCAVACIÓN

ELEMENTO DE LA MÁQUINA	HERRENKNECHT	WIRTH - NFM
DEFENSA DE LA CABEZA FRENTE AL DESGASTE	Palastros de acero soldados a la cabeza de la máquina, que protegen los discos de corte y la estructura principal. La revisión y el refuerzo de estos palastros se efectúa desde el frente, pudiendo retirar el cabezal de corte 60 cm del frente para revisión, o una distancia mayor para reparación.	Cordones de soldadura radiales y en los bordes de la cabeza, formados con electrodos duros. Estos elementos antidesgaste se recargan y/o reparan retirando hacia atrás el cabezal de la máquina.
DISPOSICIÓN DE LOS CODALES HIDRÁULICOS	Situados en los laterales del escudo. Ejercen presión contra los hastiales de la excavación.	Situados en la semisección superior. Ejercen presión hacia la clave de la excavación, que se complementa con la presión del escudo contra el terreno en la parte inferior.
ENTRADA DE MATERIAL Y ELIMINACIÓN DE BLOQUES	Entradas perimetrales grandes con piezas para rotura de bloques de roca.	Entradas perimetrales reducidas y cuatro entradas radiales, con separadores que limitan el tamaño de los fragmentos de roca. Todas con piezas para rotura de bloques.

MINISTERIO DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

DOVELAS DE REVESTIMIENTO (I)

CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

En el diseño estructural de las dovelas se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- *Empujes del terreno*
- *Manipulación de las dovelas*
- *Construcción y desencofrado*
- *Almacenamiento de dovelas*
- *Empuje de los gatos*
- *Durabilidad*
- *Resistencia al fuego*

Sistema de dovelas adoptado

En el caso del Túnel ferroviario de AV de Guadarrama, no hay curvas de radio pequeño y, por tanto, no es necesario prever una conicidad que daría lugar al uso de anillos izquierdos y derechos.

- *Se adopta un esquema en el que la dovela de solera está colocada siempre en la misma posición, lo cual permite que incorpore la plataforma con vías. Al comenzar siempre el montaje en solera, la operación resulta más segura.*
- *Para evitar las juntas en cruz, las dovelas adyacentes a la de solera son distintas, pudiéndose alternar de forma que las juntas tengan forma de T, lo que supone un factor de seguridad añadido respecto al agua.*
- *El montaje finaliza siempre por las dovelas de llave, colocadas por encima del eje horizontal y situadas alternativamente a izquierda y derecha respecto del eje vertical, encontrándose su eje a 36,75º del vertical.*

DESCRIPCIÓN

En este caso, se ha tomado un diámetro interior de $\varnothing_i$ = 8,50 m y un espesor de dovela e = 32 cm, con lo cual la relación $\varnothing$/e = 26,56, está en consonancia con obras similares.

Las dovelas se montan al abrigo de la coraza del escudo mediante el encaje de unas con otras, atornillándose en las juntas, circunferenciales y radiales, mediante tornillos rectos, que se sitúan en alojamientos embutidos en la dovela contigua. De esta forma, se dividen por dos los huecos de inserción, que siempre son un punto débil respecto de la afluencia de agua.

Los ángulos en el centro que definen los desarrollos de las dovelas son:

NÚMERO DE DOVELAS	SITUACIÓN	ÁNGULO
1	Solera	66,0º
1	Contigua a solera	73,5º
1	Clave	24,5º
4	Resto	49,0º

Las características del revestimiento con dovelas son:

- *Diámetro de excavación* — *9.450 mm*
- *Diámetro interior* — *8.500 mm*
- *Espesor de revestimiento* — *320 mm*
- *Espesor inyección en trasdós* — *130-150 mm*
- *Longitud del anillo* — *1.600 mm*
- *Número de dovelas* — *7*

ESQUEMA DOVELA

HIPÓTESIS PARA EL DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL

La hipótesis más desfavorable, en el caso de gneiss sano, corresponde a la manipulación y desencofrado de dovelas, mientras que en el caso de las zonas de falla del Valle de La Umbría corresponde al empuje del terreno. Respecto del empuje de los gatos no es necesario disponer redondos adicionales.

En las juntas radiales se ha dispuesto un suplemento de armaduras de 8 ∅ 8 en la dirección mayor y 8 ∅ 6 en la dirección menor. Además se ha dispuesto un refuerzo de armadura en el contorno del alojamiento de los tornillos y del punto de elevación de la dovela.

Teniendo en cuenta todas las hipótesis mencionadas, las armaduras obtenidas en el cálculo son:

ZONA	HORMIGÓN	ARMADURA PRINCIPAL	CERCOS
Gneiss sanos	HA-40	9 ∅ 12	∅8/20 cm
Fallas en el Valle de La Umbría	HA-50	12 ∅ 12	∅8/20 cm

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Las dovelas no se desencofran hasta que logran una resistencia mínima establecida, y las restricciones a su almacenamiento son:

- *Haber alcanzado una resistencia mínima de 10 kN/mm^2.*
- *Altura máxima de la pila correspondiente a siete dovelas (un anillo completo).*
- *Separación entre dovelas de una pila, con soportes de madera.*

ESQUEMA DE COLOCACIÓN DE DOVELAS

SECCIONES TRANSVERSALES DE REVESTIMIENTO Y DOVELAS

ESTANQUEIDAD

La estanqueidad se logra con la colocación en las juntas de la dovela de unas bandas o tiras de material fabricado con cauchos de etileno-propileno (EPDM). Las bandas se encuentran alojadas en unos rebajes, muy próximos al trasdós, situados en las juntas circunferenciales y radiales de las dovelas. El encaje de las bandas en los rebajes se hace normalmente a presión o mediante el empleo de resinas.

Las bandas longitudinales quedan encajadas y comprimidas por la presión que les transmiten los tornillos de fijación con que se unen las dovelas, y las bandas circunferenciales por la presión de los gatos de la tuneladora al hacer reacción en el último anillo construido.

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

DOVELAS DE REVESTIMIENTO (II)

FABRICACIÓN

Las piezas que forman el anillo de revestimiento de los Túneles de Alta Velocidad de Guadarrama se producen en obra. Cada una de las cuatro máquinas tuneladoras tiene asegurado el suministro de anillos de revestimiento por su propia planta de fabricación de dovelas, cuyo proceso es el típico de una instalación de prefabricados de hormigón.

Cada planta dispone de una cámara en cuyo interior tiene lugar la fase de curado de las dovelas, operación que se encuadra entre las de acabado y desmolde de las mismas. El proceso de curado tiene una duración de seis horas, durante las cuales las dovelas recién acabadas se mantienen a una temperatura media de 50ºC y una humedad del 90%. Mantener las dovelas en tales condiciones es imprescindible para que el hormigón alcance una resistencia mínima de entre 10 y 15 kN/mm^2, necesaria para la manipulación de los prefabricados entre la planta de producción y el acopio.

Las dovelas, organizadas por anillos completos, permanecen en el acopio veintiocho días para el fraguado total del hormigón y alcanzar la resistencia de cálculo.

Los tipos de hormigón utilizados en su fabricación son HA 40 para los anillos en tramos de roca sana y HA 50 para los situados en tramos de falla.

La línea de fabricación de dovelas está compuesta por una sucesión de trabajos correspondientes a cada una de las operaciones específicas del proceso:

- *Preparación de los moldes*
- *Montaje de armadura*
- *Hormigonado y vibrado*
- *Acabado*
- *Desmolde*

Antes de su salida al acopio, a las dovelas se les adhiere una junta de neopreno, cuya función es la de asegurar la estanqueidad del túnel.

ACOPIO
CÁMARA DE CURADO
VOLTEADOR
HORMIGONADO Y ACABADO
PREPARACIÓN Y MONTAJE
PLANTA DE HORMIGÓN
ACOPIO DE ARMADURAS
FABRICACIÓN DE ARMADURAS

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

SEGURIDAD
TÚNELES EN CONSTRUCCIÓN

Desde su comienzo la obra cuenta con Planes de Seguridad y Salud y de Autoprotección y Emergencia. Estos se ven muy beneficiados por la utilización de máquinas tuneladoras con escudos protectores, delantero y trasero, que evitan los desprendimientos, así como por el dispositivo de ejecución de revestimiento con dovelas más seguro del mercado. Por otra parte, la construcción de galerías de conexión entre túneles y los trenes de transporte de personal y materiales garantizan una evacuación rápida en caso de emergencia.

La utilización, pues, de tuneladoras con escudo, la colocación de dovelas mediante máquinas especiales y la ejecución progresiva de las galerías de conexión, es la mayor aportación a la protección de los trabajadores. Con ello se cambia radicalmente el concepto de seguridad en los túneles, rebajando drásticamente el grado de riesgo siempre asignado a este tipo de obras de ingeniería.

MEDIDAS PREVENTIVAS GENERALES

- *Equipo de formación e información sobre trabajo en túneles para aquel personal que lo necesite.*
- *Señalización especial en todos los puntos importantes de la obra.*
- *Plan específico de Seguridad y Salud realizado por las empresas constructoras, aprobado por la Administración Pública y desarrollado por los responsables de las distintas áreas de trabajo, dirigidos por un Jefe de Seguridad y Salud en Obra.*
- *Servicio Médico, botiquines, salas de primeros auxilios, ambulancias y equipos para la evacuación rápida de accidentados.*

MEDIDAS PREVENTIVAS DE CARÁCTER TÉCNICO

Este lugar de trabajo incluye todas las medidas de seguridad de una obra convencional, como las que se refieren a instalaciones de machaqueo y clasificación, plantas de hormigón, equipos de excavación y transporte, instalaciones eléctricas de baja y media tensión, de agua, de aire comprimido, talleres mecánicos, etc, destacando las siguientes:

- *Equipos de absorción y eliminación de polvo.*
- *Protección eléctrica con disyuntores, interruptores de urgencia y tomas de tierra.*
- *Depuración de humos en vehículos pesados y motores fijos, mediante filtros y catalizadores.*
- *Depuración de aguas mediante balsas, decantadores, separadores de grasas y depósitos de tratamiento físico-químico.*

En el marco de esta inquietud por la protección, en el caso de incorporarse algún proceso o procedimiento nuevo de trabajo, éste es sometido a la elaboración de las correspondientes y particulares normas de seguridad.

Las medidas específicas referidas a los túneles son las mas importantes, destacando las siguientes:

•Manejo de tuneladora

Esta máquina, de máxima seguridad frente a desprendimientos y totalmente automatizada, es manejada por especialistas en cada uno de sus dispositivos principales. Esta equipada con:

- *Protecciones eléctricas reforzadas*
- *Interruptores de sobrecarga en todos los motores*
- *Filtros de polvo en la zona de excavación y salida de escombros*
- *Dispositivos de bloqueo de maniobras incorrectas*
- *Cabinas insonorizadas y climatizadas para los maquinistas*
- *Válvulas de seguridad frente a sobrepresiones del sistema hidráulico*

•Fabricación y acopio de dovelas

Las instalaciones de seguridad son muy similares a las de un taller de prefabricados de hormigón. Se presta especial atención al desencofrado de las piezas, que se realiza cuando han alcanzado la resistencia suficiente para su manipulación y acopio, sin riesgo de que se agrieten o rompan en su izado o transporte.

Para evitar riesgos, en el apilado de las dovelas se utilizan tacos de madera que aseguran una perfecta estabilidad del conjunto de la pila. Especial atención se presta también a los procesos de izado, transporte y carga al tren que las lleva al frente del túnel.

•Colocación de dovelas

El procedimiento reúne la máxima seguridad debido a su alto grado de mecanización y automatización. El operador del erector realiza su trabajo con un mando a distancia que le permite mantenerse alejado y protegido por el escudo de la tuneladora.

•Extracción de escombros

Se realiza con cintas transportadoras, accionadas por motores eléctricos, cuyas características de ancho y velocidad han sido específicamente establecidas para evitar caídas de material o atrapamiento por piezas en movimiento.

Están dotadas de numerosos pulsadores de parada, carenados de seguridad y pasarelas de inspección.

•Ventilación del túnel y frente de trabajo

Se realiza por impulsión de aire fresco desde el exterior hasta la parte posterior de la tuneladora. El aire viciado y gases de combustión salen por la sobrepresión creada en el frente de trabajo.

El sistema garantiza la limpieza del aire en la totalidad de los túneles.

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

SEGURIDAD
TÚNELES EN SERVICIO (I)

INSTALACIONES

La Seguridad en la explotación de los túneles ha sido el criterio director del proyecto, y ha servido para establecer los requerimientos de la obra subterránea, así como de las instalaciones y equipos que han de garantizar su correcto servicio y la seguridad de los pasajeros. Para ello se ha contado con experiencias españolas y extranjeras de casos similares.

Medios de prevención

Se cuenta a lo largo de los túneles con sistemas de detección que permiten conocer con anticipación, desde los Centros de Control, posibles causas de accidentes:

- *Detectores de puntos calientes dentro del túnel.*
- *Detectores de presencia en galerías de conexión y cuartos técnicos.*
- *Detectores iónicos de incendio en galerías y fibroláser.*
- *Circuito cerrado de TV, que posibilita el análisis secuencial de imágenes para detectar obstáculos o cualquier tipo de incidencia.*
- *Detectores de apertura de puertas de las galerías.*
- *Detectores de gases (O_2, CO, NO...).*
- *Detección de opacidad, temperatura y humedad.*
- *Posibilidad de limitación en la sucesión de trenes.*
- *Circulación de un tren auscultador al finalizar las tareas demantenimiento nocturno.*
- *Control sistemático del túnel, la vía, la catenaria y las instalaciones.*

Medios de intervención

- *Bocas de incendio equipadas (BIE).*
- *Alimentación redundante de las bocas de incendio mediante tubería de agua a presión.*
- *Tomas de agua cada 50 m.*
- *Extintores de polvo seco y CO_2 cada 50 m.*
- *Centrales de ventilación en las dos bocas, para ventilar el túnel siniestrado y presurización simultánea del túnel no afectado.*
- *Alimentación redundante de aire fresco en galerías de conexión.*
- *Sistema de megafonía con altavoces.*
- *Postes SOS cada 250 metros.*
- *Cable radiante para comunicación permanente desde el interior.*
- *Suministro eléctrico redundante de todas las instalaciones desde ambas bocas.*

Medios interiores de salvamento

- *Galerías de conexión entre túneles*
  En un túnel doble, la existencia del paralelo a aquél donde se produce el accidente permite disponer de un sistema seguro de evacuación, por lo que hay que considerarlo como elemento principal de salvamento.

La existencia de galerías de conexión entre éstos (una cada 250 m) facilita el paso de personas de un túnel a otro. Su utilidad es, pues, fundamentalmente de seguridad, ya que, en caso de emergencia, los pasajeros pueden, a través de ellas, evacuar el túnel accidentado y esperar en el otro la llegada de ayuda, al mismo tiempo que evitan los efectos del humo y del calor.

Por otro lado, los túneles cuentan con:

- *Andén lateral de evacuación.*
- *Señalización de rutas de escape en los andenes.*
- *Puertas de acceso a las galerías transversales de conexión con apertura asistida.*
- *Bloqueo centralizado de las puertas de galerías, regulado con la circulación de trenes.*
- *Extintores, Boca de incendio equipada (BIE) y Poste SOS en las galerías.*
- *Tres niveles de alumbrado (normal, emergencia, autónomo).*

Medios exteriores de salvamento

- *Puesto de adelantamiento y estacionamiento de trenes (PAET) con los Centros de Control ubicados en sus proximidades.*
- *Helipuertos en las proximidades de las bocas.*
- *Carreteras de acceso a las bocas.*
- *Trenes de emergencia.*

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

SEGURIDAD
TÚNELES EN SERVICIO (II)

EDIFICIO DE VENTILACIÓN

VENTILACIÓN

En ambas bocas, Miraflores de la Sierra (Sur) y Segovia (Norte), se ubican sendos edificios o estaciones de ventilación, cada una de las cuales aloja tres ventiladores reversibles con la potencia suficiente para resolver las diversas situaciones posibles aunque uno de ellos esté averiado.

Desde cada estación de ventilación se puede:

- *Insuflar o aspirar aire en cualquiera de los túneles para crear o reforzar la circulación de aire y, fundamentalmente, para controlar o mover los humos que pudieran tener en caso de incendio.*
- *Insuflar aire en el túnel sano evitando la contaminación de humos desde el otro túne l.*

Este sistema constituye, junto con las galerías de conexión, el núcleo de la seguridad frente a situaciones de fuego. En efecto, cada túnel se convierte en galería de seguridad en caso de accidente en el otro, lo que exige la paralización del tráfico en ambos túneles.

Complementariamente, se ha dispuesto una sala de emergencia entre los dos túneles en un punto equidistante aproximadamente de las dos bocas. A esta sala se accede desde ambos túneles a través de galerías de conexión situadas cada 50 metros. La sala tiene una longitud de 500 metros y una anchura de 5 metros. En ella estarán dispuestos todos los dispositivos de auxilio necesarios para atender a los pasajeros de un tren. La aireación de esta sala se realiza con aire fresco desde el exterior.

PLANTA TÚNELES ALTA VELOCIDAD

El sistema de ventilación se utiliza fundamentalmente en caso de incendio. En condiciones normales, se espera una circulación de aire en el mismo sentido que los propios trenes, circunstancia que puede reforzarse insuflando aire desde uno de los centros de ventilación. Eventualmente, si un tren se ve obligado a parar dentro del túnel (sin estar incendiado) se puede insuflar aire en ese túnel.

En el caso de un tren incendiado e inmovilizado dentro de uno de los túneles (uno de los escenarios más críticos que pueden presentarse), el dispositivo de seguridad desencadena una serie de acciones orientadas primero a poner a salvo a los pasajeros y a eliminar después el humo en el túnel afectado.

Para ello,

- *Se ordena la evacuación hacia las galerías.*
- *Se desbloquean las puertas de las galerías de conexión próximas al accidente.*
- *Se ordena la paralización del tráfico en ambas direcciones.*
- *Se desbloquean las puertas de las galerías de conexión hacia el túnel sano.*
- *Se ordena la evacuación desde las galerías hacia el túnel sano.*
- *Se dispone la entrada del tren o trenes de rescate.*
- *Se insufla o aspira aire en el túnel siniestrado para controlar los humos y facilitar los trabajos de extinción.*

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

PERFIL GEOLÓGICO LONGITUDINAL
TÚNELES ALTA VELOCIDAD DE GUADARRAMA

El trazado del túnel discurre entre los términos municipales de Miraflores de la Sierra (Madrid) y Segovia. La traza tiene una ligera convexidad hacia el Este.

En perfil longitudinal, el túnel sube desde el lado Madrid con una pendiente media de 1,5% hasta alcanzar la cota de 1.200 m aproximadamente y después baja hacia Segovia con una pendiente media de 0,95%.

El perfil geológico presenta, de izquierda (Sur) a derecha (Norte), cinco grandes tramos en función de la naturaleza de las principales unidades geológicas que atraviesa el trazado:

- *Sector Soto del Real y Macizo Granítico de La Pedriza.*
- *Sector Ortoneísico del Najarra con las fallas principales del trazado.*
- *Sector de Peñalara.*
- *Macizo Granítico de La Granja.*
- *Complejo Metamórfico situado entre el Cerro de Matabueyes y Ontoria.*

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

ACTUACIONES MEDIOAMBIENTALES I

En el ámbito de las medidas de prevención y corrección medioambiental, conviene destacar, en primer lugar, que los túneles son el tipo de infraestructura de transporte cuya construcción y existencia causa menor impacto sobre el entorno natural, puesto que su trazado es subterráneo.

En el caso de los túneles de Alta Velocidad de Guadarrama, es importante señalar, además, la decisión tomada de prolongarlos aproximadamente 500 m en cada extremo, a fin de evitar que sus salidas afectaran a zonas protegidas y con alto valor medioambiental.

PROTECCIÓN DE LA VEGETACIÓN

- *Trasplantes de especies arbóreas y arbustivas, sobre todo de ejemplares autóctonos, como robles, enebros, encinas y fresnos. Esta operación es particularmente intensa en los emboquillados de los túneles, donde se han trasplantado del orden de 150 ejemplares.*

- *Jalonado del perímetro de actividad de obra, para que el movimiento de maquinaria se ciña a la superficie autorizada y se eviten alteraciones en la vegetación contigua.*

- *Control de voladuras para evitar la destrucción de la flora colindante a las obras.*

- *Control de la presencia de polvo sobre las plantas mediante riegos periódicos sobre las áreas afectadas.*

- *Reducción o supresión de riesgos para las comunidades vegetales, evitando afectarlas con:*

  - *Acopios de materiales.*
  - *Colocación de clavos, alambres, clavijas, cables, etc., en árboles o arbustos.*
  - *Encendido de fuegos.*
  - *Derrame de aceites, combustibles y productos químicos.*

PROTECCIÓN DE LA FAUNA

Las principales medidas correctoras del impacto que podrían causar los trabajos de construcción sobre el habitat natural son y permiten:

- *Evitar la posible destrucción de hábitats mediante el jalonamiento de la banda de terreno afectado y el control de las emisiones de polvo, contaminantes y ruido.*

- *Preservar la temporada de cría y nidificación en la realización de voladuras y desbroces.*

- *Sistemas de escape para la microfauna en cunetas y obras de drenaje longitudinal, dotados de rampas de hormigón rugoso cada 25 m, pequeñas y de reducida inclinación.*

- *Protección contra la erosión en los sistemas de desagüe mediante soleras de hormigón en obras de paso y sus embocaduras*

- *Reducción de la luminosidad nocturna generada por la obra utilizando focos provistos de parasoles, orientados hacia el interior de la zona de obras, y lámparas de vapor de sodio, que deslumbran menos que las convencionales.*

- *Evitar la electrocución y la colisión de las aves con señalización especial en los tendidos eléctricos y en la catenaria.*

- *Creación de minihabitats para especies protegidas o poco frecuentes, como majanos para conejos, nidos artificiales para pájaros, cercados especiales para protección de especies ribereñas de arroyos o ríos.*

PROTECCIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Las medidas correctoras mas importantes para evitar la alteración de la calidad de las aguas por un eventual aumento de la turbidez o por un vertido accidental de productos contaminantes, son:

- *Plan de emergencia para los vertidos.*
- *Eliminación de los huecos y depresiones del terreno que puedan retener y encharcar el agua de escorrentía.*
- *Depuración de las aguas residuales de las zonas de oficinas y vestuarios.*
- *Adaptación de los cauces naturales con obras transversales de paso, que garanticen la evacuación de caudales de avenidas y sus arrastres sólidos.*
- *Vigilancia de los movimientos de tierra y de todas aquellas operaciones que puedan disminuir la calidad de las aguas o alterar su flujo natural.*
- *Tratamiento de las aguas procedentes del túnel.*
- *Colocación de cunetas de guarda en las zonas de instalaciones auxiliares de obra para evacuar las escorrentías provenientes de aguas arriba.*
- *Colocación de cunetas de desagüe en la parte inferior de las zonas de instalaciones para evacuar las aguas generadas en las mismas y conducirlas hasta arquetas de retención de grasas y balsas de decantación.*
- *Separación de residuos y clasificación de los mismos (metales, suelos, tierras y hormigón).*

- *Vigilancia para que ninguna zona de recarga de acuíferos se vea afectada.*
- *Correcta ubicación de instalaciones auxiliares (parque de maquinaria, oficinas, acopios, plantas de hormigonado...) para que no afecten a caudales subterráneos.*

Reciclado del agua utilizada

Desde el punto de vista medioambiental tiene una gran importancia la instalación para el reciclado del agua de la obra, que se reutiliza a través de un circuito cerrado.

Para conseguirlo se ha mejorado el sistema de decantación y separación de hidrocarburos previsto en el proyecto constructivo. Todo el agua utilizada en los túneles, planta de fabricación de dovelas e instalación de clasificación y machaqueo de áridos, es canalizada con una cuneta perimetral hasta el punto más bajo de la obra en el que se sitúan tres decantadores de lamelas y, luego, a un separador de hidrocarburos.

A continuación el agua es bombeada hacia un sistema de depuración emplazado junto a la balsa de recogida del agua de los túneles. La depuración consiste en hacer circular el agua por unos filtros de gravas, la cloración y la modificación del pH. Finalmente, el agua se bombea de nuevo a los túneles para ser utilizada en el proceso de excavación.

Este sistema ahorra una gran cantidad de agua y evita vertidos contaminantes a los cauces naturales.

MINISTERIO DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

ACTUACIONES MEDIOAMBIENTALES II

PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA Y ACÚSTICA

Las medidas principales para reducir las emisiones de polvo y gases de combustión de motores, son:

- *Humidificación y cubrimiento de materiales almacenados.*
- *Riego de caminos de obra y cubrimiento con mallas de los materiales transportados en camiones.*
- *Utilización de captadores de polvo en el barrenado y retirada de detritus de perforación.*
- *Mantenimiento de la maquinaria de obra (reglaje de motores, utilización de filtros, etc).*
- *Ubicación de instalaciones auxiliares y viales para el transporte de materiales lejos de las zonas habitadas, y limitación horaria de actividades especialmente ruidosas en el entorno de las mismas.*

- *Pantallas antirruido temporales y limitación horaria de actividades donde se superen los niveles admitidos.*

TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Los productos de excavación del túnel se extraen con cintas transportadoras y se envían a estaciones de transferencia, donde se aprovechan clasificándolos y procesándolos para usos posteriores, según su composición mineralógica.

Los medios principales adoptados y los beneficios medioambientales y paisajísticos de este sistema general de tratamiento de residuos son:

- *Aprovechamiento de las rocas de la excavación para la fabricación de las dovelas del revestimiento de los túneles, del balasto, subbalasto y capas granulares, con lo que se evita el impacto paisajístico y atmosférico que en cualquier lugar ocasionaría la extracción de esta gran cantidad de material.*
- *Utilización de canteras y plantas de machaqueo, actualmente en funcionamiento, como zonas de acopio de materiales para evitar la ocupación y degradación de terrenos.*
- *Reducción de emisión de gases nocivos a la atmósfera por el menor transporte de rocas.*
- *Escasa utilización de vertederos.*
- *Sistema de transporte mediante cintas con motores eléctricos para evitar la contaminación acústica y atmosférica.*
- *Riesgo mínimo de contaminación de acuíferos al contar las plantas de clasificación y machaqueo de áridos y de fabricación de dovelas con circuitos e instalaciones para el reciclado del agua.*

DEFENSA CONTRA LA EROSIÓN, RECUPERACIÓN AMBIENTAL E INTEGRACIÓN PAISAJÍSTICA

La recuperación de la capa superior de tierra vegetal es de gran importancia, por tratarse de un material con alto contenido en materia orgánica que, además, favorece la infiltración del agua, disminuyendo la escorrentía y, por tanto, la erosión. Su acopio se efectúa en montones de sección trapezoidal y altura inferior a dos metros. Si el tiempo de acopio es superior a un año se procede a una hidrosiembra ligera.

La litología de la zona Norte de la Sierra de Guadarrama está formada principalmente por suelos ácidos, poco evolucionados, clasificados como entisols; por debajo de los 1.100 m son frecuentes los inceptisols, medianamente evolucionados.

Los condicionantes técnicos mas importantes son las pendientes y los suelos o rocas de las explanaciones. La pendiente prevista es de 2H:1V para terraplenes y de 1H:2V para desmontes, lo que condiciona tanto el

tipo de revegetación (siembra, hidrosiembra y/o plantación) como la implantación de medidas contra la erosión (manta orgánica, mallas, biotextiles, etc). Los desmontes en roca y/o con taludes 1H:2V no pueden revegetarse.

En cuanto a la selección de especies, se han preferido las autóctonas porque aseguran el éxito de las plantaciones, restauran de forma más natural la vegetación degradada preexistente y enriquecen los ecosistemas.

Los tratamientos de revegetación de cada zona son diferentes, según se trate de terraplenes, desmontes en suelos o rocas blandas, túnel artificial y zonas auxiliares de instalaciones temporales.

Las pantallas vegetales se colocan en zonas que requieren una restauración del paisaje y/o atenuar el impacto visual de elementos e infraestructuras relacionadas con la vía.

PERMEABILIDAD TERRITORIAL

Para mantener la permeabilidad de comunicación original existente se reponen todas las vías y servicios afectados. El trazado ferroviario exterior no atraviesa vías pecuarias, pero sí se verán afectadas algunas durante las obras debido al cruce con el camino de servicio de la cinta transportadora.

Las vías pecuarias mencionadas son la Colada de Juarrillos y la Colada de la Ermita de Juarrillos. Debido al carácter provisional y no limitante de la instalación no se impedirá el tránsito por las mismas, ya que el camino de servicio no se valla, y, por tanto, tampoco son necesarias medidas correctoras.

PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO ARTÍSTICO

El trazado transcurre en túnel en su mayor parte y, por ello, no se localiza elemento cultural alguno en la zona de obras.

En las prospecciones previas al proyecto no se ha detectado la existencia de yacimientos arqueológicos. No obstante, durante la ejecución de los trabajos se hace un seguimiento de este tema, supervisado por un equipo de especialistas, de forma que si se identifica algún yacimiento se procedería a su excavación.

VIGILANCIA AMBIENTAL

Los objetivos de este programa son los siguientes:

- *Controlar la correcta ejecución de las medidas previstas, su eficacia y la calidad de los materiales.*
- *Detectar impactos no previstos en el Estudio de Impacto Ambiental y adoptar las medidas adecuadas para reducirlos, eliminarlos o compensarlos.*
- *Elaborar informes periódicos sobre los resultados de esta vigilancia.*
- *Formulación de indicadores para cuantificar el seguimiento de las medidas previstas y sus resultados.*
- *Vigilancia especial de las medidas propuestas por la DIA.*

MINISTERIO
DE FOMENTO

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.

adif

ACTUACIONES MEDIOAMBIENTALES III

RESTAURACIÓN DE LAS ZONAS DEGRADADAS DEL ARROYO VALPARAÍSO

La restauración medioambiental realizada en la zona del arroyo Valparaíso es un ejemplo de lo que se puede llevar a cabo en otras deterioradas por la inevitable ocupación provisional de los terrenos necesarios para las instalaciones de obra.

El hundimiento provocado por el paso de una de las tuneladoras provocó la pérdida de especies arbóreas y arbustivas, así como la necesidad de sustituir y compactar el terreno afectado, todo lo cual trajo consigo un deterioro del suelo y del paisaje.

Finalizados los trabajos de reparación, en primer lugar se procedió a la limpieza de los terrenos, retirada de escombros, residuos y materiales de obra, y a la realización de catas para comprobar la potencia y composición de los rellenos.

La operación siguiente consistió en el relleno de las balsas de contención de aguas, que se habían ejecutado para evitar filtraciones durante la excavación del túnel, y en la recuperación del relieve original.

La preparación de la superficie para realizar plantaciones incluyó la descompactación del terreno sin alterar los horizontes edáficos, lo que requirió remover y retirar un espesor de tierra de 20 cm aproximadamente.

Sobre el terreno ya preparado fue extendida una capa de tierra vegetal de unos 25 cm de espesor, previamente acopiada y conservada en buenas condiciones.

La actuación fundamental fue la reposición de especies vegetales que, de acuerdo con las directrices de la Junta de Castilla y León, han de multiplicar por quince las especies dañadas. Por ejemplo, se perdieron 14 melojos y se plantaron 210.

En esta zona se decidió diversificar el número de especies para adaptarlas a la cubierta vegetal, por lo que se aumentó considerablemente el número de árboles y arbustos. Entre los primeros destacan los melojos, fresnos, pino albar, cerezo silvestre, manzano silvestre, serbal de los cazadores...; entre los arbustos destacan las retamas, endrinos, aligustres, majuelos, piornos, espinos, rosal silvestre...

En el proyecto inicial de restauración se preveían 496 ejemplares para la zona de obras, y 411 para la zona del arroyo Valparaíso, con un total de 907 plantas. Finalmente, cada zona se ha repoblado con 706 y 415 respectivamente, o sea, un total de 1.121 plantaciones, todas ellas procedentes de los viveros del Ministerio de Medio Ambiente.

Las plantaciones se realizaron en octubre de 2003, mediante hoyadoras mecánicas sobre excavadora y manuales con motor eléctrico, en áreas previamente marcadas para obtener una distribución con adecuada estética paisajística. Los plantones se trajeron de los viveros en alvéolo forestal y se protegieron con mallas metálicas para evitar que fueran comidos por los herbívoros. Las intensas lluvias favorecieron la operación de plantación de las diversas especies.

Para completar la restauración se procedió a una hidrosiembra de plantas pratenses, con una dotación de 35 gr/m^2, y una aplicación de abonos de liberación progresiva de nutrientes (50% de liberación entre medio a dos meses, y el otro 50% a lo largo de ocho meses).

La superficie total restaurada fue de 1.935 m^2

Como complemento a la restauración de terrenos, fauna y paisaje, se procedió a la instalación de majanos para refugio y zonas de cría para conejos, tanto para proteger esta especie con animales sanos y vacunados, como para aumentar su población y proteger así, indirectamente, a los ejemplares de águila imperial ibérica de los Montes de Valsaín, cuyo alimento principal es el conejo de monte.

Estos majanos son estructuras circulares artificiales con seis alojamientos radiales, rodeadas de piedras y cubiertas con tierras y ramajes, que constituyen un refugio seguro en el que los conejos viven y se reproducen en buenas condiciones ambientales.

TÚNEL DE GUADARRAMA

BOCA SUR (TÚNEL OESTE)

BOCA SUR (TÚNEL ESTE)

Empresas constructoras

DRAGADOS · TECSA EMPRESA CONSTRUCTORA S.A. · necso · OHL · Sacyr · COMSA Empresa Constructora · GEO

Asistencias Técnicas

TYPSA · EUROCONSULT INGENIEROS CONSULTORES Y CONTROL DE CALIDAD · ICYFSA · ESTEYCO

BOCA NORTE (TÚNEL OESTE)

BOCA NORTE (TÚNEL ESTE)

Empresas constructoras

DRAGADOS · VIAS · FCC · CV CONVENSA Construcciones y Ventas, S.A. · ferrovial · ferrovial

Asistencias Técnicas

getinsa GABINETE DE ESTUDIOS TECNICOS INGENIERIA, S.A. · Eptisa · EUROCONTROL

Dirección y Coordinación de las Obras

INECO

MINISTERIO DE FOMENTO

adif

El presente proyecto, cofinanciado en un 85 % por la Unión Europea, contribuye a reducir las disparidades sociales y económicas entre los ciudadanos de la Unión.