

Túnel de Vielha, Juan Carlos I



Foto superior: boca Norte del túnel de Vielha. En la foto inferior, aparece la boca Sur.



*Juan J. Barios Baquero, ICCP y
Director de las obras. Demarcación
de Carreteras del Estado
en Catalunya.*

Introducción

Cl nuevo túnel de Vielha “Juan Carlos I” se encuentra situado en los Pirineos, en la provincia de Lleida, carretera N-230 de Tortosa a Francia por el Valle de Arán, a una altura sobre el nivel del mar de 1500 m, aproximadamente.

La importancia de este túnel, para las comunicaciones del Valle de Arán con la Península, es fundamental, ya que en la actualidad sólo existen dos conexiones: el paso a través del Puerto de la

Bonaigua (cortado unos 7 meses al año) y el actual túnel en la N-230. Además, existe otra conexión con Francia, también permanente como la del túnel, a través del curso del río Garona.

La idea de construir un túnel en este lugar ya se defendió en el año 1830, y fue transformada en proyecto por los ingenieros franceses Auriol y Partiot. Sin embargo, no sería hasta un siglo después cuando Alfonso XIII, tras su visita al Valle de Arán, ordenó la ejecución de las obras.

Comenzaron a trabajar en el antiguo túnel en marzo de 1926, y en el año 1941 se horadó la montaña; no obstante, hubo que esperar hasta el mes de mayo de 1948 para su apertura al tráfico, constituyendo en estas fechas

la principal obra de ingeniería realizada en España.

El antiguo túnel de Vielha “Alfonso XIII” tiene una longitud de 5240 m con dos carriles de 3,0 m de anchura, dos aceras de 0,5 m y una pendiente media del 5,0%. Su trazado en planta es recto, ya que inicialmente estaba proyectado para el ferrocarril, y su orientación es, aproximadamente, Sur-Norte. Se destaca, que las bocas del túnel se encuentran a altitudes elevadas (boca Sur 1630 m y boca Norte 1320 m) lo que obliga a realizar frecuentemente operaciones de vialidad invernal para mantener un nivel de servicio adecuado, tanto en los accesos del túnel como en su interior.

Las necesidades actuales del tráfico

motivaron que se acometiera, por parte del Ministerio de Fomento, la construcción de un segundo túnel paralelo al anterior, dado que la infraestructura existente no permitía mejoras que no pasasen por la realización de un nuevo túnel.

En el año 2000 se aprobó el Proyecto de Construcción del Nuevo Túnel de Vielha, y las obras se iniciaron en septiembre del año 2002.

Teniendo en cuenta la denominación del primer túnel, y en reconocimiento del apoyo decisivo de la institución monárquica al desarrollo de las infraestructuras en España, el Ministerio de Fomento estimó procedente denominar el nuevo túnel, con el nombre de: **"Túnel de Vielha, Juan Carlos I"**.

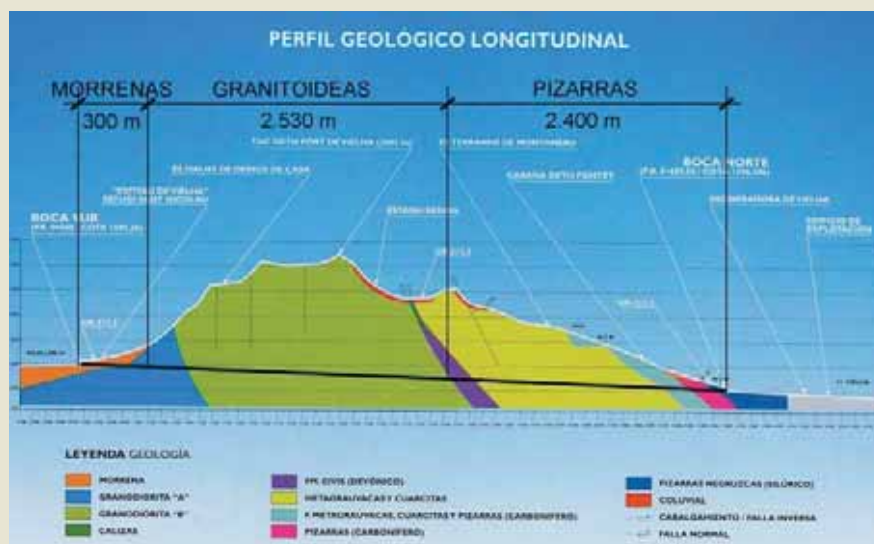
Las obras de construcción del nuevo túnel se adjudicaron a la U.T.E. formada por las empresas constructoras: Obrascón-Huarte-Lain, S.A. (50%); Copcisa, S.A. (25%); y Comsa, S.A. (25%).

La primera piedra de inicio de las obras se colocó el 2 de marzo de 2002. La primera voladura en túnel se hizo el 25 de octubre de 2002. La montaña se horadó el 3 de marzo de 2005. Y el nuevo túnel de Vielha se puso en servicio el pasado día 5 de diciembre de 2007.

Características generales del proyecto

La longitud total del proyecto es de 6573 m, de los cuales 5230 m son de túnel en mina. Además del túnel, cabe destacar la construcción de un edificio de explotación y mantenimiento con una superficie de 2810,8 m²; dos estaciones de ventilación (una en cada boca); dos enlaces a distinto nivel; un viaducto de vigas de cuatro vanos y 100 m de longitud en la boca Norte; y un marco-pérgola de 56 m de longitud y un falso túnel de 80,50 m en la boca Sur.

En cuanto al tramo en túnel, se trata de un tubo bidireccional, paralelo al actual, de 5200 m de longitud con tres carriles de 3,5 m: dos en sentido a Lleida y uno en sentido a Vielha, separados por una mediana de 0,5 m y dos arcenes de 0,5 m, uno a cada lado. La plataforma se completa con dos aceras de 1,0 m. El gálibo de la sección transversal es de 5,29 m y el radio mínimo



Perfil longitudinal geológico del nuevo túnel de Vielha.

del trazado en planta es de 450 m.

La sección total de excavación es de 127 m² (95 m² de sección útil y 78 m² de sección libre), y la pendiente máxima es del 4,57% en el sentido Vielha-Lleida.

Bajo las aceras del túnel se llevan los cables de media tensión, los conductores de alimentación de los cuadros secundarios de nichos, refugios, etc., los conductores de alimentación de las luminarias, los conductores de señales débiles, y además las tuberías de fundición que alimentan los hidrantes y BYE'S situados en los nichos de incendios del hastral Este del túnel.

La velocidad específica en el interior del túnel se ha fijado a 80 km/h.

El nuevo túnel de Vielha está conectado con el antiguo túnel mediante 12 galerías transversales de conexión para emergencias y auxilio, una cada 400 m. Las galerías tienen una longitud media de 100 m, aproximadamente, y una sección transversal de 25 m², suficiente para permitir el paso de ambulancias, policía y camión de bomberos.

Se disponen nichos de seguridad y de incendios cada 200 m (25 unidades de cada uno), situados en la misma sección de túnel y enfrentados entre sí.

Además, existen 12 refugios, coincidentes con las galerías de conexión con el túnel antiguo, situados cada 400 m. También está equipado con 8 apartaderos o anchurones de 37,50 m de longitud: cuatro en cada margen y separados 550 m entre sí.

Geología de la traza

A continuación, se describen, en el sentido creciente de los pp.kk., los tipos de terrenos atravesados durante la excavación del túnel.

Desde el inicio del túnel en el pk 0+520 hasta el pk 0+800 se atravesaron los depósitos cuaternarios morrénicos del Valle del Noguera Ribagorzana. Estos depósitos están constituidos por bloques decimétricos, más o menos angulosos, de naturaleza granítica, que flotan en una matriz arenosa-limosa.

Seguidamente, y hasta el pk 1+205, se atravesaron materiales granitoideos muy tectonizados y fracturados pertenecientes a la zona de fractura del Noguera Ribagorzana. Esta fracturación fue disminuyendo hacia el interior del macizo, dando paso a una facies de granodioritas con menos fracturación hasta el p.k. 3+275. Esta granodiorita presentaba una textura granulada, y generalmente porfídica, con un tamaño de grano grueso a muy grueso.

A continuación, y hasta el p.k. 3+425, apareció una formación de pizarras muy compactas micáceas pertenecientes a la formación Civis (Devónico), que se disponían entre ellas discordantes, dando lugar a una discordancia basal o inconformidad como resultado de la relación entre una posible apófisis de la granodiorita y estos materiales. La interpretación del contacto con la apófisis de la granodiorita justificó la existencia de una zona de

aproximadamente 45 m de la formación Civis fracturada. En este tramo hubo una gran afluencia de agua (aprox. 800 m³/h); incluso, en algunas zonas, se presentó ésta con cierta presión.

A continuación, y en una longitud de 1480 m, es decir, hasta el p.k. 4+905, nos encontramos con la facies de metagrauvacas y cuarcitas, separada de la formación anterior por una falla de tipo inverso (falla por Maladeta), que finalizó a la altura del p.k. 4+905. Esta facies se encuentra dentro del tramo detrítico de la serie inferior del Carbonífero pre-hercínico (*facies Culm*), y se encontró fracturada y replegada. Después, y hasta el p.k. 5+125, apareció una facies de metagrauvacas, cuarcitas y pizarras, también perteneciente a la facies Culm, y del mismo modo replegada, que en su parte más interior presentó buzamientos altos, de aproximadamente 70° hacia el norte. Luego, hasta el p.k. 5+385, siguió la facies Culm; pero esta vez constituida por una facies de pizarras con intercalaciones de calizas marmorizadas y cuarcitas, también con buzamientos elevados.

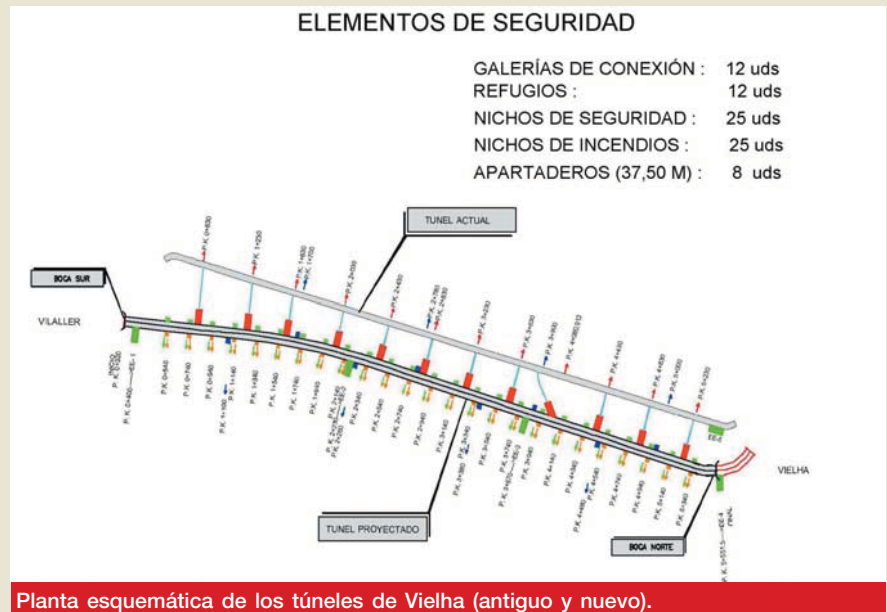
Desde el p.k. 5+385, cabalgamiento de la Picada-Valarties, y hasta el final del túnel en la boca Norte, aparecieron unas pizarras amplitas de carácter micáceo y colores negros correspondientes al Silúrico, y muy fracturadas.

Durante la excavación del túnel, se fue realizando un levantamiento geológico-geotécnico del frente, determinándose las características de la roca matriz y las discontinuidades del macizo, y su disposición respecto al túnel, con el fin de establecer su índice RMR (según la clasificación geomecánica de Bieniawski, 1979).

Una vez determinado el RMR del "pase", se definía la longitud del "pase" siguiente, el tipo de esquema de perforación a utilizar y el sostenimiento a aplicar.

En cuanto a los rangos del índice RMR, medidos en función de los materiales atravesados, han sido los siguientes:

Granodioritas:	45<RMR<65
Pizarras silúricas	RMR<40



Planta esquemática de los túneles de Vielha (antiguo y nuevo).

Pizarras grafitosas	RMR<35
Pizarras arenosas	45<RMR<60
Calizas marmóreas	50<RMR<60
Zonas de falla y morrenas	RMR<30

Método constructivo y sostenimiento

El procedimiento utilizado para la excavación y sostenimiento del túnel siguió la filosofía básica del Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles (N.M.A.). Se utilizaron seis tipos de sostenimientos diferentes, en función de las características geomecánicas de los terrenos atravesados. Del más ligero al más pesado, consistieron en:

Tipo 1A:

– Hormigón proyectado:

Capa de sellado: 3 cm con fibras metálicas.

Segunda capa: 3 cm sin fibras.

– Bulones de 4 m de longitud, Ø 25 mm, con una densidad de 1 por cada 2 m².

Tipo 1B:

– Hormigón proyectado:

Capa de sellado: 3 cm con fibras metálicas.

Segunda capa: 7 cm sin fibras.

– Bulones de 4 m de longitud, Ø 25 mm, con una densidad de 1 por cada 2 m².

– Mallazo entre capas de hormigón proyectado.

Tipo 2:

– Hormigón proyectado:

Capa de sellado: 3 cm con fibras metálicas

Segunda capa: 6 cm de espesor sin fibras

Tercera capa: 6 cm de espesor sin fibras.

– Bulones metálicos de 4 m de longitud, Ø25 mm, con una densidad de 1 por cada 1,5 m².

– Mallazo entre capas de hormigón proyectado.

Tipo 3A:

– Cercha TH-21, 1 por metro.

– Hormigón proyectado:

Capa de sellado: 3 cm con fibras metálicas.

Segunda capa: 11 cm sin fibras.

Tercera capa: 3 cm sin fibras.

– Bulones de 4 m de longitud, Ø25 mm, con una densidad de 1 por cada 1,5 m².

– Mallazo entre la 2ª y la 3ª capa de hormigón proyectado.

Tipo 3B:

– Cercha HEB-180: 1 por metro.

– Hormigón proyectado:

Capa de sellado: 3 cm con fibras metálicas.

Segunda capa: 9 cm de espesor sin fibras.

Tercera capa: 9 cm de espesor sin fibras.

– Bulones de 4 m de longitud, Ø 25 mm, con una densidad de 1 por cada 1,5 m².

Tipo 4:

– Paraguas de micropilotes de Ø150

mm, 12 m de longitud y separados entre sí, 25 cm (65 micropilotes por “pase”).

- Cercha HEB-180: 1 por metro

- Hormigón proyectado:

Capa de sellado: 3 cm con fibras metálicas.

Segunda capa: 10 cm sin fibras.

Tercera capa: 10 cm sin fibras.

Desarrollo de las obras

Dadas las características del túnel y su ubicación, se decidió acometer su excavación y sostenimiento, desde las dos bocas a la vez y con equipos totalmente independientes, como si se tratara de dos túneles diferentes.

Cada uno de los equipos de Norte y Sur fueron totalmente autónomos, incluso en lo relativo a los recursos para desescombros, y los talleres de reparación y mantenimiento de la maquinaria.

Boca Sur:

Esta embocadura presentaba, a priori, una de las mayores dificultades técnicas de la obra. Por una parte, debido a la propia naturaleza del material atravesado, depósitos cuaternarios morrénicos, de naturaleza granítica, con gran dispersión en el tamaño de los bloques, flotando estos, a su vez, en una matriz areno-limosa; y, por otra, por encontrarse la boquilla del túnel por debajo del nivel freático del río Noguera Ribagorçana, lo que obligó a excavar materiales saturados de agua, con un ángulo de rozamiento inferior a 35° y un valor de cohesión próximo a cero.

Además de lo anterior, la presencia de edificaciones en las proximidades, inmediatamente por encima de la embocadura, y el pequeño espesor de recubrimiento existente (desde 10 a 25 m en los primeros 100 m del túnel) condicionaron la elección de la dinámica de trabajo a seguir. Los trabajos en esta boca comenzaron en noviembre de 2002 con la colocación de un paraguas pesado de micropilotes de Ø150 mm de espesor y 15 m de longitud, con un total de 65 micropilotes (uno cada 25 cm). El equipo de perforación empleado para la ejecución de este paraguas pesado fue una perforadora hidráulica sobre orugas Casagrande PG115. La



Perforación de un “pase” en granitoideas a sección completa.

perforación se realizó a rotopercusión con martillo de fondo, empleando aire comprimido como fluido de perforación.

Dado que para atravesar todo el tramo de morrenas era preciso realizar al menos quince paraguas de protección sucesivos, como el descrito anteriormente, se estudió la posibilidad de ejecutar éstos, con los mismos equipos empleados en la excavación del túnel, para mantener así su continuidad. Se realizaron varias pruebas sobre los taludes laterales de la embocadura para estudiar la viabilidad de utilizar un jumbo convencional en la colocación de los micropilotes. Y finalmente, se optó por un sistema tipo boca piloto-boca anillo, de la empresa finlandesa “Robot”. Las ventajas que presentó este método respecto al convencional de martillo en fondo fueron:

- 1- Mayor rendimiento en la ejecución de cada paraguas de micropilotes (1170 m de perforación por paraguas). Se redujo el plazo de ejecución de un paraguas, de dos semanas (método tradicional), a 48 horas (utilizando el jumbo para la perforación y colocación de los micropilotes).

- 2- Utilización de los recursos ya existentes en obra (jumbos, personal, etc.).

Una vez finalizada la ejecución del paraguas de micropilotes, se iniciaba la excavación del túnel a media sección, empleando para ello medios mecánicos, en principio por los dos laterales del frente, dejando un machón

central para evitar posibles hundimientos del frente.

Los “pases” eran 1,0 m aproximadamente de longitud, mientras se terminaba la excavación del “pase”, se iniciaba la fase de sellado con hormigón proyectado y fibras metálicas, y se completaba el sostenimiento con la cercha HEB180 con “pata de elefante” para repartir mejor los esfuerzos; la separación respecto a la anterior era de 1 m. Se finalizaba el sostenimiento con la proyección de 2 capas de gunita de 10 cm de espesor cada una.

Los rendimientos obtenidos en la ejecución de media sección de túnel, en este tipo de terreno, fueron de 36,00 m/mes de media y se alcanzaron rendimientos máximos de 48,00 m/mes.

Con fecha 2 de julio de 2003, la geología del terreno varió, finalizando la formación de morrenas cuaternarias y comenzando los granitos. En este tipo de terreno, se hace ya necesario el empleo de explosivos para avanzar la excavación, y dadas las características geomecánicas de la roca, se pudo realizar esta a sección completa (127 m² de sección y 5,0 m de longitud por “pase”).

Los medios empleados para avanzar en este tipo de terreno, y por esta boca, fueron los siguientes:

Mano de obra:

75 operarios, organizados en 3 turnos/día, incluyendo en esta cifra los operarios de desescombro y talleres.

Maquinaria:



Perforación de ensanche en galería de ventilación existente



Inicio de la perforación de una galería de conexión.

- 1 Jumbo utilizado en el frente principal, y pionero en España, con cuatro brazos (tres de perforación y uno con la cesta de servicio, totalmente automatizado).

- 1 Jumbo equipado con deslizaderas telescópicas, apto para la ejecución de las galerías transversales de 25 m² de sección, y además como reserva del anterior para el frente principal en caso de avería de aquél.

- 2 Robot de gunitado.
- 2 Plataformas de trabajo.
- 1 Carretilla elevadora.
- 1 Retroexcavadora mixta.
- 1 Retroexcavadora con martillo picador de 3500 kg.
- 2 Palas cargadoras.
- 5 Dúmpers articulados de 35 t t.
- Equipos auxiliares (grupos eléctricos, ventiladores, bombas, equipos de oxi-corte, etc.).

Talleres:

- 1 Taller mecánico de 500 m².
- 1 Taller eléctrico de 300 m².

El esquema de tiro consistía en perforar 160 barrenos de 5,30 m de longitud, con un cuele cilíndrico de 4 secciones y una carga específica de 1,3 kg/m³. El explosivo utilizado fue Goma 2 ECO, de Ø 32 mm y Ø 40 mm, cordón detonante de 100 g de pentrita y detonadores **no eléctricos** de alta insensibilidad.

Los rendimientos medios obtenidos a sección completa en estas formaciones granitoideas fueron de 175 m/mes, con unos valores máximos de 230 m/mes.

Simultáneamente a la excavación del frente a sección completa, se realizaban

las excavaciones de las galerías transversales, los nichos de seguridad e incendios enfrentados cada 200 m, los refugios y centros de transformación, y los

ca, nos encontramos con la existencia de una galería de ventilación de unos 55 m² de sección y 1470 m de longitud, ejecutada hace 25 años, que ser-



Gran cantidad de agua en el interior del túnel de Vielha.

anchurones o apartaderos cada 550 m.

Los caudales de agua máximos aforados por esta boca fueron de 285 m³/hora. Este volumen de agua había que evacuarlo al exterior mediante equipos de bombeo distribuidos a lo largo de la galería principal y separado unos 400 m entre sí. Una vez las aguas sucias estaban en el exterior, eran conducidas a través de una canalización de P.V.C. de 250 mm de diámetro a una balsa de decantación, y desde esta balsa a un tanque decantador-floculador donde se separaban los sólidos en suspensión y se corregía el pH y la turbidez del agua antes de verterla de nuevo al cauce existente.

Boca Norte

Al inicio de los trabajos por esta bo-

vía para reforzar la ventilación de la boca norte del túnel antiguo.

Los trabajos iniciales consistieron en ensanchar, a sección completa (127 m²), dicha galería de ventilación. Dado que los terrenos a excavar eran pizarras negruzcas del silúrico y pizarras del carbonífero, se optó por avanzar mediante el empleo de explosivos con voladuras a sección completa y con longitudes de "pase" entre 2,0 y 4,0 m.

La longitud del "pase" se decidía en función del valor del índice RMR obtenido en los levantamientos geológicos que se iban realizando diariamente.

El equipo utilizado, tanto humano, como de equipamiento de maquinaria, talleres e instalaciones, fue idéntico al utilizado para la boca Sur ya descrito.



Detalle de agua en el interior del túnel, a veces, con presión.



Ejecución de un paraguas de micropilotes en morrenas.

Una vez se avanzaron los primeros 150 m, para los que se utilizó la sección de sostenimiento tipo 3A (Cerchas TH-21; hormigón proyectado en tres capas con espesor total mínimo de 17 cm; capa de mallazo entre la 2ª y 3ª capa de gunita; y bulones de 4 m de longitud con una densidad de 1 de cada 15 m²), se continuó ensanchando la galería, a sección completa, y colocando un sostenimiento tipo 2.

Para aumentar el rendimiento de los equipos, se abrieron varios frentes de trabajo, utilizando la propia galería de ventilación como vía de acceso a las diferentes fuentes de excavación. Los rendimientos medios obtenidos en este tramo, fueron de 230 m/mes con puntas de 270 m/mes.

Todos los trabajos de excavación y ensanche de la galería existente, se hicieron bajo la presencia de agua, aforándose caudales en torno a 250 m³/h. Como consecuencia de la mezcla de los finos procedentes de la excavación con el agua surgente, se obtenía en la boca Norte del túnel, un producto “no apto” para su vertido directo al barranco próximo.

Previamente al inicio de la excavación, y para evitar la contaminación de los cauces existentes, se montó una planta de depuración de aguas y de corrección del pH, con una capacidad de tratamiento de 350 m³/h.

En marzo de 2003 apareció una importante vía de agua en el frente principal (aforándose caudales de entre 180-200 m³/h) que, junto con el agua

del resto del tramo ya excavado, agotó la capacidad de tratamiento de la instalación existente. Y, en consecuencia, se tuvieron que ralentizar los trabajos por esta boca.

Cuatro meses más tarde, se había sustituido la depuradora inicial (capacidad de tratamiento 350 m³/h) por otra nueva, mucho mayor, que permitía tratar volúmenes de agua próximos a los 1300 m³/h. Además, se aprovechó, también, para montar un espesador de fangos y un depósito criogénico de CO₂ para la corrección del pH.

La pendiente natural descendente del túnel hacía que el agua no quedara en el frente y que saliera, por gravedad, hacia la boca Norte.

Además del incremento de agua que existía, en este tramo se detectaron importantes convergencias, por lo que se decidió afrontar esta zona de túnel avanzando a media sección, con una altura en clave de 5,80 m. En cuanto al sostenimiento de las zonas más comprometidas, se tuvo que emplear la misma solución que tan buenos resultados nos dio en la boca Sur, y que consistió en la ejecución de varios paraguas sucesivos de micropilotes con longitudes de 8,0 m, colocación de cerchas HEB-140 cada metro y proyección de gunita en espesores variables entre 24 y 30 cm.

Así, a media sección y con sostenimientos puntuales pesados como los descritos anteriormente, se completó la excavación del tramo del túnel en pizarras hasta el encuentro con los granitos.

En este tipo de terreno granítico se

excavaron por la boca Norte, a sección completa, unos 650 m de túnel, hasta “calar” con el frente excavado desde la boca Sur.

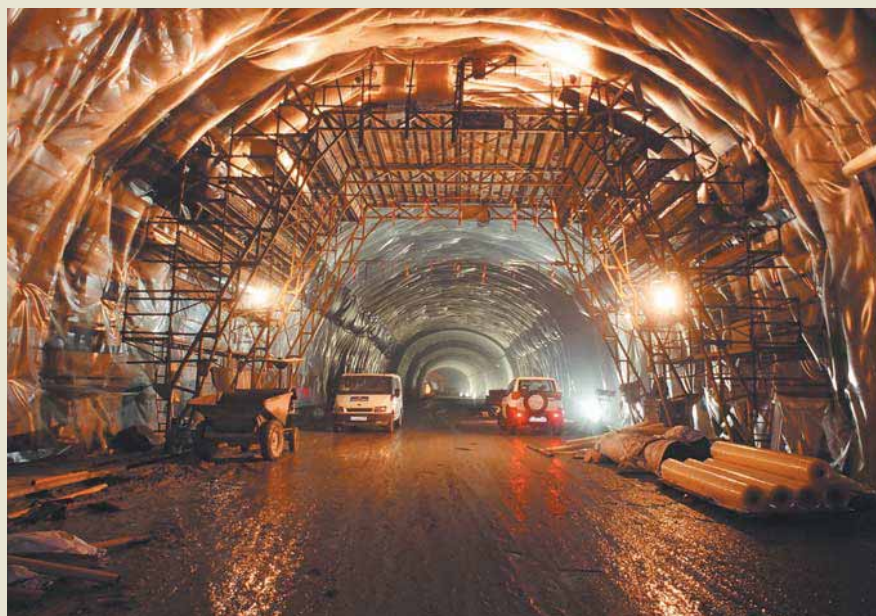
El tramo de túnel, afectado por el contacto entre las pizarras y las granodiaritas se caracterizó por la abundante presencia de agua. Tal fue el caudal, que la nueva instalación de tratamiento de aguas montada en la boca Norte, se volvió a quedar pequeña. No siendo posible incrementar su tamaño (dificultad de espacio, problemas de plazo, etc.), se decidió crear una red separativa de aguas en el interior del túnel.

Mediante la colocación de láminas drenantes provisionales, captaciones directas con tuberías de PVC, etc., las aguas del interior del túnel se dividieron en dos zonas. Desde la clave del túnel hasta la cuneta derecha (*aguas limpias*), y desde la clave del túnel hasta la cuneta izquierda (*aguas sucias*). Como la rasante del túnel tiene un peralte constante del 2% en el sentido Este-Oeste (con el punto bajo en el hastial oeste izquierdo del túnel), las aguas sucias de la plataforma, por la gravedad, se unían a la línea de aguas sucias del túnel. Para evitar la contaminación de las aguas recogidas en el hastial derecho, éstas eran conducidas hasta la boca del túnel, mediante la construcción de tramos provisionales de cunetas revestidas de hormigón o mediante la utilización de los tramos de tuberías de drenaje ya ejecutados; o, incluso, montando tramos de tubería donde se requerían y todavía no existían los definitivos.

Con esta solución, solo tenía que tratarse en la planta depuradora situada en la boca Norte la línea de aguas sucias, que representaba del orden del 70% del total del agua. Es decir, puntas máximas aforadas de 1700 m³/h, que suponían volúmenes de agua a tratar del orden de 1200 m³/h, siendo posible tratarlos con la instalación existente.

Trabajos de superestructura

Cuando se había realizado el 60% de la excavación del túnel, se iniciaron los trabajos de superestructura. Estos trabajos se iniciaron con la ejecución de los caes de drenaje situados en ambos hastiales del túnel, y con la colocación de las tuberías colectoras de drenaje (Ø 500 mm), de ventilación secundaria (Ø 600 mm) y de recogida de vertidos contaminantes (Ø 400 mm) situadas bajo las aceras del túnel.



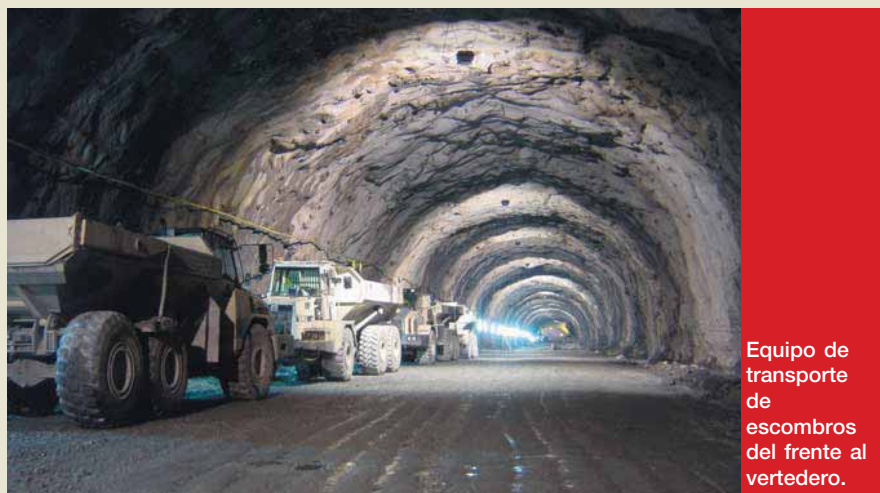
Impermeabilización del interior del túnel de Vielha.

de 1,5 mm, también termosellada, a la altura del apoyo del falso techo de hormigón armado separador de la zona de tráfico de la zona de ventilación princi-

pal. El objeto de esta última capa de PVC era reforzar los tramos de impermeabilización próximos a las zonas de túnel con armaduras.

Seguido de los equipos de impermeabilización del túnel y con un decalaje de aproximadamente 200 m más atrás, venían los equipos de revestimiento. Todo el túnel está revestido de hormigón en masa con un espesor mínimo de 30 cm. Para la ejecución de esta unidad de obra se emplearon cuatro carros hidráulicos de revestimiento, especialmente fabricados para esta obra, de 12,50 m de longitud cada uno, que permitieron obtener unos rendimientos medios de revestimiento de 500 m/mes.

Decalados otros 200 m más atrás



Equipo de transporte de escombros del frente al vertedero.

Se continuó con las tareas de impermeabilización de toda superficie de túnel excavada. La solución ejecutada consistió en la colocación de una primera capa de geotextil de 800 g/m² encargada de evitar el punzonamiento de la segunda capa de impermeabilización, realizada mediante el termosellado de láminas de PVC translúcido de 2,0 mm de espesor. El sistema de impermeabilización se completó con la colocación de una lámina drenante, de 8,0 mm de nódulo, situada en los hastiales del túnel, desde el caz de drenaje hasta 3,0 m de altura, y con la colocación de otra lámina de PVC opaca



Trabajos de revestimiento en el interior del túnel.



Inicio de la construcción de la bóveda del falso túnel en la boca Sur.



Planta de tratamiento de aguas de la boca norte con una capacidad de tratamiento de 1300 m³/h.

de los carros de revestimiento del túnel, venían los carros de encofrado, también fabricados especialmente para esta obra, y que servían para la construcción de las losas de hormigón armado del falso techo del túnel, que servían de base para la ejecución de los conductos de ventilación. Se fabricaron seis carros de encofrado de 12,50 m de longitud cada uno, con el objetivo de mantener el mismo rendimiento obtenido con el resto de equipos de superestructura.

Una vez realizados los trabajos de revestimiento y las losas del falso techo, y ya con el túnel totalmente diáfano, se iniciaron los trabajos de afirmado del túnel, que, en nuestro caso, se han ejecutado de hormigón en masa, con pasadores longitudinales que cosen las losas de cada carril entre sí, y pasadores transversales que cosen cada uno de los carriles con el contiguo.

A continuación, se realizó el firme del túnel en dos capas. La primera capa se ejecutó con hormigón magro, sin pasadores, y con un espesor mínimo de capa de 30 cm. La puesta en obra de este hormigón magro se realizó con una extendidora de hormigón que hubo que modificar previamente para poderla adaptar a la geometría del túnel.

Una vez finalizada la capa de hormigón magro, se inició, con el mismo equipo, el extendido de la 2ª capa de firme, realizada con hormigón tipo HP-4.5, con un espesor de 25 cm y con una anchura de extendido, por pasada, de 4,0 m (4,0+ 4,0 + 4,0). A medida que se avanzaba con la ejecución de esta capa, se iban colocando tanto los pasadores lon-



Boca Norte del túnel de Vielha.

gitudinales como los transversales. Para garantizar la calidad de la junta longitudinal entre carriles, se utilizaron encofrados fijos convencionales en lugar de los encofrados deslizantes que llevaba la entendedora.

El rendimiento medio obtenido en la ejecución de las dos capas de firme fue de 550 m³/día, lo que supuso terminar todos estos trabajos en 65 días.

Instalaciones y equipamientos

El nuevo túnel de Vielha está dotado con las más modernas y completas instalaciones y equipamientos que en la actualidad se está utilizando en la construcción de los nuevos túneles; y, desde el punto de vista de la seguridad para sus usuarios, podría situarse a la cabeza de los túneles de Europa.

En cuanto a sus instalaciones y equipamientos más importantes pueden citarse:

1. Alimentación eléctrica

La alimentación eléctrica del túnel es doble y redundante. Por cada boca existe una fuente de alimentación independiente, con potencia suficiente para atender todas las necesidades de energía del túnel en caso de que fallara la otra. El sistema está formado por un centro de transformación en cada boca y tres intermedios en el interior del túnel. La alimentación eléctrica se realiza mediante un cable de MT situado bajo la acera Oeste del túnel y se transforma en BT en los centros de transformación. La tensión de alimentación es de 25 kv. Los cinco centros de transformación tienen conmutación automática y redundancia de transformadores.

2. Iluminación

La iluminación principal en el interior del túnel es cenital. Un total de 650 proyectores equipados con lámparas dobles de vapor de sodio alta presión, y situadas encima de los carriles izquierdo y derecho del túnel proporcionan los



Vista interior del túnel en sentido Vielha-Lleida.



Vista interior del nuevo túnel de Vielha.



Vista interior del túnel. Zona de aceleradores. Un carril de bajada y dos carriles de subida.

fico con una losa de hormigón armado. Esta zona, a su vez dividida en cuatro conductos o cantones, dos de ellos conectados con la estación de ventilación de boca Sur, y los otros dos con la de boca Norte.

En condiciones normales, el aire impulsado desde cada estación de ventilación es conducido a través de los cantones conectados con éstas e introducido en el interior del túnel por unas trampillas telecomandadas situadas cada 50 m. La salida del aire contaminado al exterior del túnel se hace por las bocas del mismo.

En caso de incendio, todas las trampillas del cantón afectado por ese incendio se cierran a excepción de las

distintos niveles lumínicos necesarios para la explotación del túnel. Dos luminancímetros y 12 reguladores de flujo luminoso son los encargados de gestionar el control de encendido en las bocas.

Además, el túnel está equipado con 422 luminarias de balizamiento y emergencia situadas en ambos hastiales y a 1,00 m de altura desde la acera. La autonomía de estas luminarias es de 2 horas, suficiente para desalojar a los usuarios del túnel con la máxima seguridad en caso de fallo de la instalación de iluminación principal.

3. Ventilación

El sistema de ventilación utilizado en este túnel es del tipo semitransversal reversible. Existen dos estaciones de ventilación, una en cada boca del túnel, desde las que se gestiona el suministro de aire fresco y la extracción



Vista interior del nuevo túnel de Vielha en servicio.

de humos en caso de incendio. En sección transversal, la parte superior del túnel está separada de la zona de trá-

seis más próximas, que se abren completamente. En ese instante, desde la estación de la ventilación afectada por



Arriba, la izquierda, interior del túnel, un carril de bajada y dos carriles de subida. A su derecha, entrada a refugio y escalera de acceso a cantones de ventilación. Foto inferior: Sala de control del túnel de Vielha.

ese cantón, se pone en marcha un ventilador axial de extracción de humos, con objeto de que todo el humo generado en el incendio pase a través de las seis trampillas abiertas y se conduzca, por este cantón, hacia el exterior procedente de las estaciones de ventilación de ambas bocas.

Por los otros tres cantones, se impulsa aire fresco. Con ello, se consigue confinar los humos del incendio en los 250 m de túnel afectados por las seis trampillas abiertas.

Las estaciones de ventilación están dotadas con equipos redundantes que garantizan su funcionamiento en todo momento con la siguiente composición:

- 2 ventiladores axiales de impulsión de aire fresco, de 488 kW.

- 2 ventiladores axiales reversibles capaces de impulsar aire fresco o de extraer humos, de 592 kW.

Complementariamente a todo lo anterior, se ha colocado en la mitad del túnel nueve aceleradores, con la misión de compensar el tiro natural en su interior, para que, en caso de incendio, no existan corrientes que impidan que el humo generado en el incendio pueda ser extraído a través de las seis trampillas más próximas.

Existe, además, una ventilación secundaria e independiente de la anterior que sirve para la ventilación de nichos, locales técnicos, refugios y galerías de conexión. Este sistema está compuesto por dos ventiladores centrífugos en cada boca de 60 kW/Ud.

4. Red de agua contra incendios

Está formada por dos depósitos para almacenamiento de agua de 750 m³ de capacidad cada uno, y situados en ambas bocas del túnel; un sistema de impulsión, compuesto de dos bombas principales de 125 CV y dos bombas *jockey* de fundición dúctil con diámetro Ø 300 mm (doble, para mantener la redundancia de todas las instalaciones), valvulería y accesorios: 52 hidrantes de columna seca, ubicados en los nichos de incendios; 102 BYE'S y en el hastial derecho del túnel (una cada 50 m) un sistema de diluvio, novedad y casi única, en relación con los túneles ejecutados hasta esta la fecha.

Este sistema de diluvio consistente en un colector de acero inoxidable de Ø 150 mm, situado en la parte superior del hastial Este, del que derivan cada 5,0 m una triple boquilla tipo "Manifola", de corto, medio y largo alcance, para cubrir con agua un rectángulo de 5,0 x 14,00 m. Este sistema se empleará en caso de incendio, una vez confirmada la no existencia de personal en la zona afectada. Con el objeto de preservar la infraestructura existente y evitar el incremento de temperaturas en esa área, se activará el sistema inundando la zona con el agua procedente de las boquillas "Manifola" existentes cada 5,0 m. Esta medida también permitirá que los equipos de



Vista interior de refugio.

bomberos y de emergencias puedan acceder mucho antes.

5. Señalización vertical complementaria

Tanto el interior del túnel como sus accesos están equipados con la siguiente señalización vertical complementaria:

Accesos al túnel

- Paneles gráficos de mensaje variable (5 por boca) con señalización acústica.
- Sistema de control de gálibo por barrera de infrarrojos y espías electromagnéticas bajo el pavimento.
- Barreras suspendidas sobre calzada marcando el gálibo máximo permitido en el interior del túnel (1 por boca).
- Sistema de fibra óptica para transmisión de señales.

Interior del túnel

- Semáforos tricolor (1 por boca).
- Barreras automáticas para cierre del paso al interior del túnel (1 por boca).
- Paneles de mensaje variable (12 u.).
- Cuadros de señalización de carriles ASPA/FLECHA (168 u.).
- Semáforos bicolor (rojo-ámbar) (26 u.).
- Señales de tráfico luminosas de limitación de velocidad a 80 km/h (24 u.).
- Señales de tráfico luminosas de prohibición de parada injustificada (8 u.).
- Señales luminosas de distancia mínima entre vehículos 70 m (22 u.).
- Señales luminosas de prohibido



Detalle de equipamiento de un nicho de seguridad.

adelantar (14 u.).

- Señales luminosas informativas señalando las salidas de emergencia, de preseñalización de salidas del túnel. De posicionamiento de anchurones, de preseñalización de anchurones, etc. (60 u.).
- Señales fotoluminiscentes para indicar las distancias a las salidas de emergencia, los hidrantes, etc.

6. Circuito cerrado de televisión

Se han instalado un total de 93 cámaras de TV. de 1/3", focal 4 mm., conmutables entre B/N y color en función de la luminosidad.

Estas cámaras están distribuidas de la siguiente forma: 56 cámaras en el interior del túnel (una cada 75,0 m), 12

cámaras en los refugios, 12 cámaras en las galerías transversales de conexión, 8 cámaras en los sobreeanchos del túnel y 5 cámaras en el exterior (2 fijas y 3 móviles).

Las imágenes recogidas por estas cámaras, son enviadas a la sala de control, donde pueden visualizarse en los 30 monitores TFT de 20" y/o en los 2 videowall de 67" allí instalados.

7. Telefonía

Se ha instalado una centralita digital privada para dar servicio a los terminales instalados en el túnel, en los edificios de ambas bocas y en el centro de mantenimiento y explotación.

El túnel, dispone de terminales telefónicos con acceso directo con los servicios de socorro y seguridad.

8. Detección de incendios

Se ha instalado un sistema lineal de detección de incendios, que mide las temperaturas mediante un cable sensor situado bajo la losa del techo del túnel. Cualquier incremento de temperatura en una zona determinada es detectado por el sistema y comunicado a la sala de control.

9. Radiocomunicaciones

Se han instalado tres tipos de antenas con sus correspondientes equipos de repetidores tanto para los recintos exteriores como para los interiores (FM comercial, VHF de 2 m y VHF de 4 m). Con estas instalaciones se proporciona cobertura de radio al interior del túnel,



Centro de transformación de M.T. situado en la boca Norte.



Interior del edificio de ventilación de la boca Sur.

siendo posible interferir, desde el centro de control, la frecuencia de los usuarios e insertar mensajes pregrabados o comunicar instrucciones directas a través del equipo de radio de los vehículos.

10. Gestión técnica centralizada

El túnel está dotado de unos equipos de autómatas programables para la recogida de señales y control de determinadas funciones, que permanentemente están dialogando con los autómatas integradores de los distintos sistemas del túnel instalados en el centro de control. El túnel se ha equipado con una serie de equipos de medida distribuidos a lo largo del túnel y en las bocas, tales como; medidores de CO y de NO; opacímetros, anemómetros y estaciones meteorológicas. Además, también se han instalado dispositivos para el control de acceso a locales técnicos, nichos, refugios, centros de transformación y cantones de ventilación.

Las señales registradas tanto por los equipos de medida como por los dispositivos de control de accesos son recogidas por los autómatas (PLC,S) y enviadas al centro de control para su gestión.

11. Equipamientos de nichos, refugios y locales técnicos

El túnel está equipado con postes S.O.S. tanto en el interior como en el exterior. En el interior estos se han ubicado en los refugios, en los nichos y en los apartaderos. Además de las pos-

tes S.O.S., estos locales técnicos están equipados con interfono, extintores, pulsador de alarma de incendios y baliza luminosa para facilitar su localización.

En los doce refugios se ha instalado, además, un sistema de videoconferencia que permite ver al usuario desde el centro de control y al operador desde el refugio, facilitando la comunicación entre ambos; y, sobre todo, tranquilizar al usuario al poder dirigirse directamente, a través de la pantalla de vídeo, a una persona que le está escuchando enfrente.

12. Megafonía

Se han instalado un total de 254 altavoces que permiten transmitir a los usuarios del túnel cualquier mensaje pregrabado, o cualquier instrucción directa que se desee comunicar desde el centro de control (218 altavoces de 30 W en el interior del túnel y 36 altavoces de 15 W en los refugios y galerías). Los amplificadores son de 360 y 240 W de potencia y están ubicados en las estaciones eléctricas.

13. Detección automática de incidentes

Se ha diseñado un sistema informático específico (*hardware+software*) que procesa las señales de vídeo recibidas del túnel y gestiona las comunicaciones entre módulos.

El sistema se encarga de recibir y realizar el primer procesamiento de las señales grabadas por las cámaras del cir-

cuito cerrado de televisión; y, en el caso de detectar algún incidente, lo comunica automáticamente al operador del centro de control para que analice y evalúe la incidencia.

Edificio de explotación y mantenimiento

Junto con las obras del túnel, también se ha ejecutado, en las proximidades de la boca norte del túnel, una urbanización perfectamente integrada en el entorno, con edificaciones en dos plataformas a distintos niveles y paralelas a las curvas de nivel del terreno. En esta urbanización se han construido los siguientes equipamientos:

Urbanización:

- Centro de reportaje de vehículos (uso propio).
- Zona de aparcamientos.
- Explanada para acopio de materiales.
- Zonas ajardinadas.

Edificio de control:

Albergue, aseos, sala de exposiciones, sala de calderas, sala de bombas, sala de control, sala de crisis, despachos y vivienda.

Edificio de naves:

- Nave para almacenamiento de la sal.
- Nave garaje con capacidad para 12 vehículos.
- Nave taller, con aseo y sala de grupo electrógeno. ■