

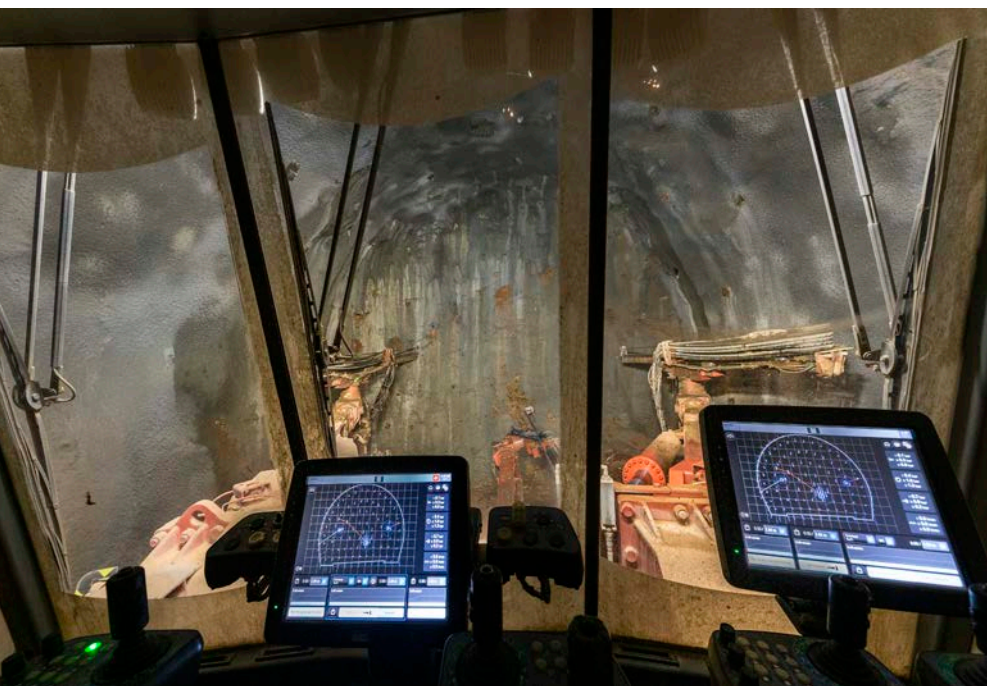
Un paso más en la conexión por autovía de Tarragona hacia el interior

■ *Texto: Christian de la Calle Otero y Aida Murcia Gayol*
Fotografías: Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña

*Frente de excavación a media sección (destroza)
del tubo Este, desde el lado Sur,*

Cale del túnel de Lilla

El pasado 4 de marzo de 2021 tuvo lugar el cale del túnel de Lilla, un importante hito dentro de las obras del tramo Valls-Lilla (Montblanc) de la autovía A-27. Las labores de excavación de este túnel bitubo de 1.500 m de longitud, iniciadas en noviembre de 2019, han supuesto un gran reto desde el punto de vista técnico y constructivo debido a las particularidades del terreno y de los materiales atravesados, que han requerido emplear diversos métodos de excavación y sostenimiento.



Equipo de guiado láser para túnel. El sistema proyecta en tiempo real la sección de un túnel cargado en el software control con una precisión centimétrica, con la ayuda de guiado de la estación total. La proyección de la sección teórica de excavación sobre el frente del túnel, de forma continua y georreferenciada, proporciona al operario de la maquinaria o el ingeniero de túnel una referencia visual que le permite optimizar el proceso de excavación en sus sucesivos avances.

La autovía A-27: un eje estratégico

La autovía A-27 será una vía alternativa de gran capacidad a la carretera N-240 entre Tarragona y Montblanc, donde enlazará con la autopista AP-2 Zaragoza-El Vendrell. Actualmente, ya está en servicio entre Tarragona y Valls, restando 2 tramos para su conclusión: el tramo en obras Valls-Lilla (Montblanc), y el tramo que cerrará la A-27 hasta enlazar con la AP-2 en Montblanc.

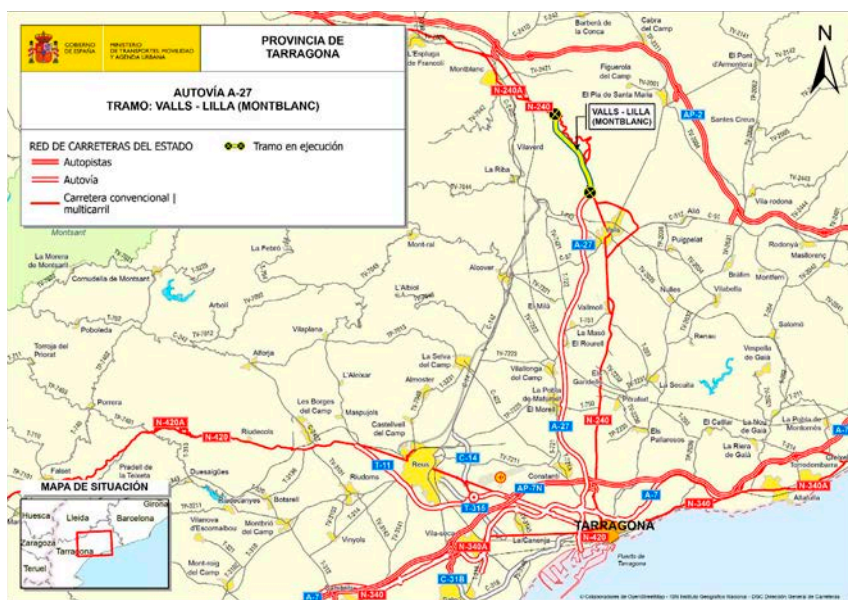
Se trata de una infraestructura estratégica para la provincia de Tarragona: los 23 km de autovía en servicio conectan entre sí importantes zonas industriales (como la refinería, el polígono petroquímico o el polígono industrial Riu Clar, entre otros) y localidades de la corona metropolitana de Tarragona directamente con el Puerto de Tarragona, mediante una infraestructura segura y de gran capacidad, mejorando la competitividad del transporte. Contribuye, además, a mejorar la cohesión territorial y la movilidad de la población, al facilitar los accesos a la autovía A-7, a la autopista AP-7, a la carretera T-11 que sirve de acceso al aeropuerto de Tarragona y, en

un futuro, a la autopista AP-2, momento en el que se potenciarán los beneficios de este eje en el flujo de comunicaciones por carretera entre Tarragona y el norte y noroeste de la Península, completando el mallado de la red de gran capacidad del Estado.

AUTOVÍA A-27. TARRAGONA-MONTBLANC

TRAMO	INVERSIÓN TOTAL (Millones de €)	LONGITUD (km)	SITUACIÓN
Tarragona – El Morell	71	7,8	En servicio (13/08/2013)
El Morell-Variante de Valls	86,4	9,5	En servicio (13/10/2015)
Variante de Valls	43	5,3	En servicio (18/12/2015)
Variante de Valls-Lilla (Montblanc)	142,6	5,1	En ejecución
Lilla – Enlace con AP-2 (Montblanc)	28,6	5,5	Orden de estudio para la redacción del proyecto
	371,6	32,9	

La inversión total incluye el presupuesto de obras, expropiaciones y asistencias técnicas vinculadas.



Mapa de carreteras en el entorno de la A-27.

Tramo Valls-Lilla (Montblanc)

El origen del tramo de autovía A-27 entre Valls y Lilla, actualmente en ejecución, se sitúa en las proximidades del núcleo urbano de Masmolets (en el término municipal de Valls) y finaliza en el enlace de Lilla con la N-240 (en el término municipal de Montblanc) siendo la longitud total del tronco de 5.100 m.

Las obras de este tramo se iniciaron en 2009 pero estuvieron paralizadas varios años por dificultades técnicas y presupuestarias derivadas de la crisis económica emergente en ese momento. En 2016 se retomaron los trabajos en uno de los viaductos para salvar el cruce de la traza con la Rasa del Serraller, pero no fue hasta enero de 2019, tras la aprobación de un proyecto modificado muy complejo, cuando se relanzaron las obras en su totalidad.

Este modificado vino motivado fundamentalmente por la problemática geotécnica del túnel bajo el Coll de Lilla, el elemento más singular que alberga este tramo

como veremos más adelante, pero también por la necesidad de adaptar las instalaciones de este túnel al espectacular avance respecto al año 2007 (momento en el que se redactó el proyecto original) en los campos de la electrónica, las telecomunicaciones y la iluminación, pasando de utilizar equipos electrónicos analógicos a digitales, en telecomunicaciones de comunicación con cables de

cobre a fibra óptica, y en iluminación de emplear luminarias de vapor de sodio de alta presión a tecnología LED, entre otros elementos que redundarán en una mayor eficiencia y seguridad para los usuarios.

El presupuesto vigente de las obras asciende a 133,76 M€, de los cuales casi 100 M€ corresponden a la obra civil e instalaciones del túnel de Lilla, lo que da una idea de la magnitud de este proyecto.

Túnel de Lilla

El túnel de Lilla atraviesa la sierra Carbonera bajo el coll de Lilla mediante dos tubos de unos 1.500 m de longitud cada uno, uniendo así las comarcas del Alt Camp y la Conca de Barberà.

Ambos tubos están conectados entre sí por 6 galerías transversales, 5 peatonales y 1 para el paso de vehículos de emergencia. La sección transversal de cada tubo está formada por una calzada con 2 carriles de 3,50 m cada uno, arcén interior de 0,50 m, y exterior de 1,00 m, y



Ejecución del camino de acceso al emboquille Norte del túnel de Lilla.



Emboquille Sur del túnel de Lilla. Lado Vallès.



Emboquille Norte del túnel de Lilla. Lado Montblanc.



Tubo Oeste calado a sección completa.

Galería peatonal de conexión entre tubos.



2 aceras de 0,75 m. La sección revestida del túnel es circular de diámetro 11,14 m y su pendiente es del 2,90 % ascendente en sentido Montblanc.

Características principales y volumen de excavaciones del túnel

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PRESUPUESTO LÍQUIDO DE LA OBRA CIVIL DEL TÚNEL DE LILLA	88.459.946,98 €
PRESUPUESTO LÍQUIDO DE LAS INSTALACIONES DEL TÚNEL DE LILLA	11.172.139,02€
PRESUPUESTO LÍQUIDO TOTAL DEL TÚNEL DE LILLA	99.632.086,00 €

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL TÚNEL

Longitud del túnel	CI 1.493,15 m CD 1.500,15 m
Radio mínimo	1.350 m
Pendiente máxima	2,60 %
Velocidad de proyecto	80 km/h
Anchura de la calzada	8,50 m (0,50+2*3,50+1,00)
Anchura mínima de acera	0,80 m
Anchurones	1 por tubo
Galerías de conexión peatonal	5
Galerías para vehículos de emergencia	1
Secciones de sostenimiento	10
Obras de drenaje transversal	5

EXCAVACIONES

Excavación en avance de túnel con explosivos	118.856 m ³
Excavación en avance de túnel con medios mecánicos	54.603 m ³
Excavación en destroza de túnel con explosivos	75.086 m ³
Excavación en destroza de túnel con medios mecánicos	40.433 m ³
Excavación en contrabóveda de túnel con medios mecánicos	36.320 m ³
Volumen total de excavación del túnel	325.299 m³

SOSTENIMIENTOS

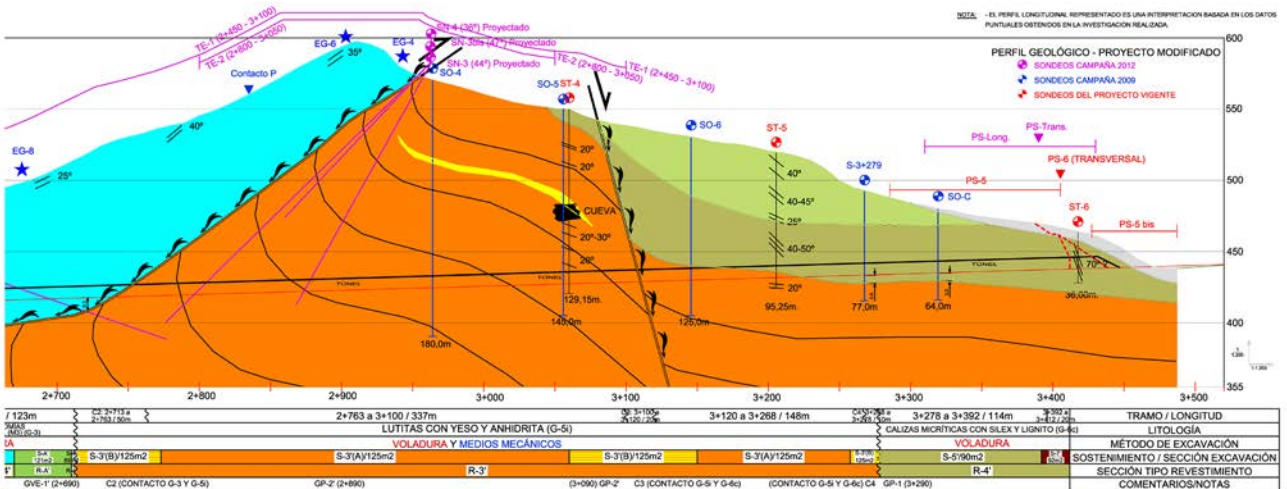
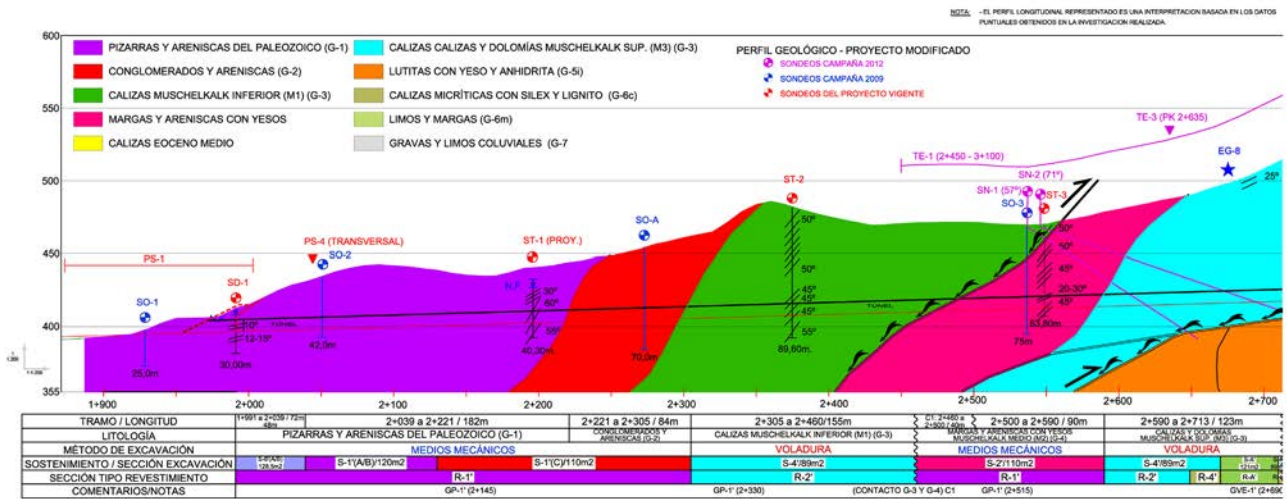
Hormigón proyectado HP-30 reforzado con fibras	18.188 m ³
Bulones de acero Ø25 y 4 m	7.569 ud
Bulones de acero Ø32 y 4 m	2.848 ud
Bulones tipo Swellex y 4 m	1.783 ud
Bulones autopercutor de 40 t	888 ud
Micropilotes autopercutor sist. Robit de Ø=101,6mm	23.168 m
Cerchas de tipo TH-29	727.635 kg
Cerchas de tipo TH-16,5	81.134 kg
Cerchas metálica HEB-160	609.529 kg

HORMIGONES Y ACERO

Hormigón HM-30 en revestimiento de bóveda y contrabóveda	31.196 m ³
Hormigón HA-50 en revestimiento de bóveda y contrabóveda	40.035 m ³
Acero para armar tipo B-500 S	6.129.256 kg

Principales dificultades. Retos superados

La mayor singularidad geológico-geotécnica, que ha condicionado la ejecución del túnel de Lilla desde su inicio, radica en la presencia de materiales lutíticos y argilíticos con contenidos variables de anhidrita y



Nuevo perfil geológico geotécnico del túnel según proyecto modificado.

yeso, lo que en determinadas circunstancias puede dar lugar a expansiones volumétricas y a presiones muy fuertes sobre la sección del túnel. También surgieron problemas geotécnicos en la zona del emboquille Sur, donde las pizarras se encontraban muy plegadas, fracturadas y meteorizadas.

Esta complejidad geológica del macizo, unida al conocimiento de la aparición, pocos meses después de la conclusión de su excavación, de problemas por expansividad de anhidritas en el cercano túnel de la línea ferro-

viaria de alta velocidad Madrid-Barcelona, en la misma formación, puso de relieve ya en 2010 la conveniencia de efectuar una definición acorde con el estado de la cuestión en aquel momento, aprovechando la experiencia proporcionada por el citado túnel ferroviario.

Para ello se desarrollaron diversas actuaciones de prospección, con dos campañas de sondeos a lo largo del túnel, varios perfiles de tomografía eléctrica y de sísmica de refracción, complementados con diferentes ensayos de laboratorio de los materiales

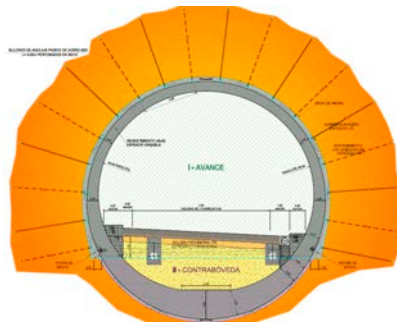
extraídos de los sondeos. El fruto de estos estudios es un nuevo perfil geológico-geotécnico a lo largo del túnel, en base al que se adaptaron varios aspectos del proyecto, recogidos en el modificado aprobado en diciembre de 2018, entre los que podemos destacar:

- Cambio de trazado en alzado del túnel pasando de una pendiente del 2,50% de rampa al 2,90% para salir cuanto antes del estrato de anhidritas. Con el nuevo perfil, la longitud atravesada en anhidritas es de 600 m.

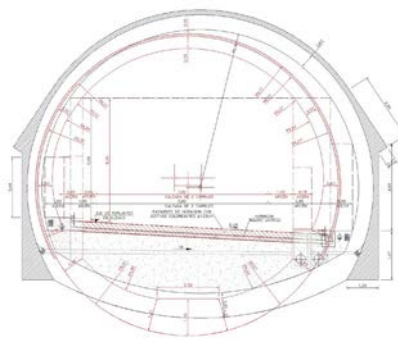
- Recálculo del revestimiento del túnel en la formación de anhidritas, utilizando los datos de presión de hinchamiento obtenidos de la ejecución de los túneles de la línea del AVE Madrid-Barcelona.
- Cambio de la sección transversal del túnel de sección normal (anchura mínima 12,5 m) a sección estricta (anchura mínima 10,0 m), para limitar en la medida de lo posible la magnitud resistente requerida.
- Debido a los problemas aparecidos en la zona de pizarras en el emboquille sur, se realizaron modificaciones para construir el túnel en condiciones seguras: se introdujo un paraguas pesado de pre-sostenimiento integrado en el ciclo de avance y la construcción de una pantalla de pilotes en el emboquille del túnel del lado Sur.

Además, para evitar o reducir el potencial expansivo de los materiales atravesados en la construcción del túnel, se emplearon elementos de modernidad como el jumbo de tres brazos con refrigeración mediante el sistema *water mist*, que permite reducir el agua necesaria durante la perforación de los bulones a un 10% de la que se emplea en el sistema convencional, minimizando así la aportación de agua al macizo, y se evitó la excavación mediante voladuras que pudieran fisurar la roca en la formación de anhidritas.

De esta forma, en noviembre de 2019 se inició la excavación del túnel de Lilla, atacando los



Sección tipo sostenimiento en zona de lutitas con yeso y anhidritas.



Superposición de una sección tipo del túnel en el proyecto original (color negro) y en el proyecto vigente (color rojo) en la zona de anhidritas.

cuatro frentes de forma simultánea mediante la utilización de diversos métodos de excavación (mecánica y voladura) y sostenimiento (cerchas, bulones, paraguas de micropilotes y hormigón proyectado reforzado con fibras o gunita) en función de los materiales atravesados (pizarras, conglomerados, areniscas, calizas, argilitas, lutitas, yesos y anhidritas).

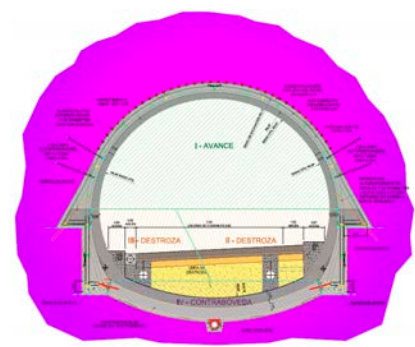
El túnel de Lilla se está ejecutando mediante el Nuevo Método Austriaco en dos fases (avance y destroza), consistente en la aplicación de un sostenimiento flexible que se opone a la deformación de la sección hasta su estabilización. Esta flexibilidad en el empleo de los elementos de sostenimiento permite su continua optimización a medi-

Ejecución de pantalla de pilotes en emboquille Sur (lado Valls).





Excavación del túnel en avance y destroza.



Sección tipo sostenimiento en zona pizarras.



nuevas patologías de inestabilidades y condicionantes geotécnicos del terreno que suponían una afección y un grave peligro para los trabajadores y para la propia obra. Por este motivo, se incorporó al proyecto la ejecución de una contrabóveda estructural de cierre de la sección del túnel en fase de sostenimiento que permitiera el reparto de cargas para frenar las deformaciones que se estaban produciendo, y una nueva sección tipo de sostenimiento en el tramo pendiente de excavar en pizarras.

da que avanza la ejecución del túnel. Las principales ventajas de este método de excavación son: la flexibilidad de aplicación, el control en el frente (debido a la longitud de avance modulable y la aplicación del sostenimiento inmediato tras la excavación), el ajuste de los costes (se aplican los elementos de sostenimiento realmente necesarios) y la experiencia de aplicación (se ha aplicado en un número importante de obras en nuestro país).



Acto de cale del túnel el 4 de marzo de 2021 con presencia del ministro de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

En 2020, ya en fase de excavación del túnel, surgieron nuevas complicaciones. Cuando se habían excavado unos 160 m de sección de avance desde el emboquille sur a través de un terreno compuesto mayoritariamente por pizarras en un estado de degradación elevado, se declaró una emergencia por la magnitud de las deformaciones acumuladas en el tramo excavado. Se registraron deformaciones muy superiores a las previstas en fase de proyecto, derivadas de





Excavación de contrabóveda estructural de cierre de la sección en fase de sostenimiento, en zona de pizarras grises en elevado estado de degradación

Finalmente, el pasado 4 de marzo se culminó la excavación y sostenimiento en sección de avance del túnel, mientras que el 19 de marzo finalizó la excavación y sostenimiento en sección de destroza.

Actualmente, se están excavando y hormigonando las contrabóvedas del revestimiento en las secciones de pizarras (de hormigón en masa) y anhidritas (de hormigón armado de 1,50 m de canto máximo). Además, se está colocando la impermeabilización del túnel y se están construyendo los muros de apoyo del carro de encofrado de revestimiento, que constituirán las aceras del túnel.

Cabe destacar en cuanto a la digitalización del sistema constructivo, el empleo de un equipo de guiado láser que proyecta en tiempo real la sección de un túnel cargado en el *software* con una precisión centimétrica, con la ayuda de guiado de la estación total. La proyección proporciona al operario de la maquinaria o el ingeniero de túnel una referencia



Reperfilado de la sección con la ayuda del equipo de guiado láser.

Hormigonado de la contrabóveda de revestimiento en el tramo de pizarras.



visual que le permite optimizar el proceso de excavación en sus sucesivos avances.

Auscultación del túnel

Debido a las particularidades descritas del terreno atravesado, se está realizando una auscultación del túnel durante la fase de construcción, que se mantendrá durante su fase de explotación con el fin de controlar la evolución de las presiones del macizo y las tensiones en contrabóvedas y bóvedas construidas. La instrumentación consta fundamentalmente de células de presión radiales y tangenciales en el hormigón, extensómetros en las armaduras, micrómetros deslizantes y piezómetros de cuerda vibrante que permitirán medir las deformaciones del terreno, la presión hidrostática de las aguas freáticas y las tensiones que soportan el hormigón y el acero de las armaduras. Toda esta información estará recogida para su análisis y tratamiento en el nuevo Centro de Control del túnel.

Digitalización de la infraestructura

El túnel de Lilla estará altamente digitalizado y contará con un nuevo Centro de Control desde donde se controlarán todos los parámetros y se hará un seguimiento de la vialidad.

En el túnel se instalará un conjunto de equipos para realizar una serie de funciones y medir parámetros a partir de los cuales se puedan tomar decisiones de actuación. Todo ello (alumbrado, ventilación, CCTV, DAI, megafonía, equipos contra incendios, SAI, grupos electrógenos, medidor opacidad, etc...) estará integrado en un sistema de con-



Colocación de las láminas de impermeabilización en la bóveda.

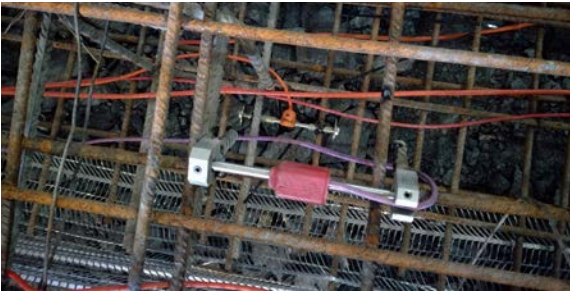


Hormigonado de las aceras.



Carro de encofrado de la bóveda del revestimiento.





Extensómetro instalado en la contrabóveda de sostenimiento en tramo de pizarras.



Célula de presión instalada en la contrabóveda de sostenimiento en tramo de pizarras.

rol de supervisión y adquisición de datos (Scada), que gestionará la explotación del túnel de forma automática.

La explotación de todas las instalaciones mediante el sistema integrado facilita la actuación del operador y permite realizar un mantenimiento planificado. En función de los parámetros

medidos, por ejemplo, la opacidad de la atmósfera, se regula el funcionamiento de la ventilación en el túnel. Análogamente sucede con el alumbrado. Con todo ello se tendrán registros de los tiempos de funcionamiento de los distintos equipos, por ejemplo, ventilación y alumbrado, lo cual permite planificar el mantenimiento en función de las caracte-

terísticas de los equipos que da el fabricante.

Asimismo, el túnel estará equipado con todas las instalaciones y medidas de seguridad que exige el Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, *sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado*. ■



Futuro Centro de Control del túnel.

