

ADECUACIÓN DE LOS TÚNELES DE GUADARRAMA EN LA AUTOPISTA AP-6 AL REAL DECRETO 35/2006 ACTUACIONES REALIZADAS: REPARACIÓN Y REHABILITACIÓN

Rafael Pérez Arenas

Santiago Rodón Ortiz

Abertis autopistas España

Introducción

El Real Decreto 635/2009 de seguridad en los túneles de la red de carreteras del Estado, entre otros aspectos, establece los requisitos mínimos a cumplimentar en lo que respecta a equipamiento e instalaciones, fijando además la fecha límite de aplicación de lo prescrito en el Real Decreto, que en condiciones normales será el 30 de abril del 2014, excepcionalmente prorrogable hasta el 30 de abril del 2019.

En esta comunicación se describen las acciones llevadas a cabo en los Túneles de Guadarrama, localizados en la autopista de peaje AP-6. Existen tres túneles de una longitud media de 3 km contruidos en diferentes fechas (1963, 1972 y 2007), y la remodelación se ha llevado a cabo en los dos túneles más antiguos, dado que el tercero ya fue construido de acuerdo a la nueva normativa. La particular situación de los túneles, con uno de ellos operado en reversible, ha permitido que los trabajos de remodelación se hayan podido llevar a cabo de manera ágil y en un corto plazo, minimizando las afecciones a los clientes-usuarios.

La comunicación se estructura describiendo en primer lugar las actuaciones más singulares en lo que respecta a la obra civil y a continuación se hace un repaso pormenorizado a la adecuación de las instalaciones principales de los tres túneles.

Antecedentes

La autopista de peaje AP-6 Villalba – Adanero forma parte del corredor viario que comunica Madrid con el noroeste de España. Además de su concepción de arteria de comunicaciones de primer orden en lo que se refiere al tráfico nacional de largo recorrido, la AP-6 también vertebraba una red que ha soportado tradicionalmente un importante tráfico estacional, dado el carácter de segunda residencia del área noroeste de la Comunidad de Madrid y de la zona tras la sierra del sur de la provincia de Segovia.

A finales de los años 90 se decidió acometer la ampliación de capacidad del tramo de la AP-6 comprendido entre Villalba y San Rafael, en el cual se localizan los túneles de Guadarrama. Los dos primeros túneles, anteriores a la reciente ampliación



de capacidad, fueron construidos en épocas diferentes. Así el primero data de 1963 y fue concebido como variante de la carretera N-VI en su paso a través del puerto de Guadarrama, siendo además la primera infraestructura viaria de peaje en España. El segundo se concibió y proyectó dentro de la autopista AP-6, inaugurándose en 1972. Los criterios de diseño en lo que respecta a trazado y tipo de vía, hicieron que el segundo túnel se proyectara y construyera con una planta y un alzado muy diferentes al primero, no siendo por tanto paralelos entre sí, de manera que incluso ambos túneles llegan a cruzarse en el interior de la montaña. La longitud media de cada túnel, como ya se ha comentado anteriormente, es de unos 3.000 metros.

Todo lo anterior condicionó sobremanera el diseño de la ampliación de capacidad de la autopista en el tramo en el que se localizan los túneles, además del hecho de que la ampliación de los mismos manteniendo ambas calzadas en servicio era absolutamente inviable, por razones obvias: nivel de servicio mínimo e inviabilidad de circulación bidireccional en los túneles dado que no estaban preparados para ello. Por tanto, la solución consistió en esencia en construir un tercer túnel con sus correspondientes accesos para la circulación del tráfico en sentido Madrid, y habilitar el que inicialmente soportaba el tráfico en sentido Madrid para su operación en reversible, en función de la demanda. Lo anterior obligó a diseñar un sistema de carga y acceso a la que sería calzada reversible, lo que ha implicado un diseño muy cuidado tanto del trazado como de los sistemas de cierre y apertura que, por criterios de diseño, debían estar totalmente automatizados.



Por otra parte, justo antes de comenzar los proyectos tuvieron lugar los accidentes de los túneles de Mont-Blanc y Tauern que fueron los detonantes para la revisión en profundidad de los criterios de seguridad de los túneles carreteros en Europa.

El desarrollo del proyecto constructivo del tercer túnel de Guadarrama coincidió en el tiempo con la concienciación de la necesidad de una normativa común europea en materia de seguridad en túneles carreteros, y por tanto con la redacción de la que luego sería Directiva 2004/54/CE, que supuso un esfuerzo importante dado el número de organismos y expertos implicados y la duración en el tiempo que lleva la promulgación de una norma de estas características.

Por ello, para la redacción del proyecto se consideraron no sólo la normativa y recomendaciones vigentes en su momento en España (principalmente la Instrucción

para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre - IOS-98), sino también recomendaciones y normativas internacionales, en especial la Circular Interministerial nº 2000-63 de 25/08/2000 relativa a la seguridad en los túneles de carretera (Francia), la Directive de l'Office Federal des Routes 2001 (Suiza), el Documento de trabajo del grupo de expertos de la Comisión Europea sobre seguridad en túneles y, por supuesto, no se perdieron de vista los diferentes borradores de la Directiva Europea 2004/54/CE. En definitiva, el nuevo túnel se proyectó con una dotación de instalaciones de seguridad que ya en aquel momento (hablamos de noviembre de 2003, fecha de redacción del proyecto definitivo) se adaptaba prácticamente en su totalidad a los requisitos mínimos exigidos por la misma.

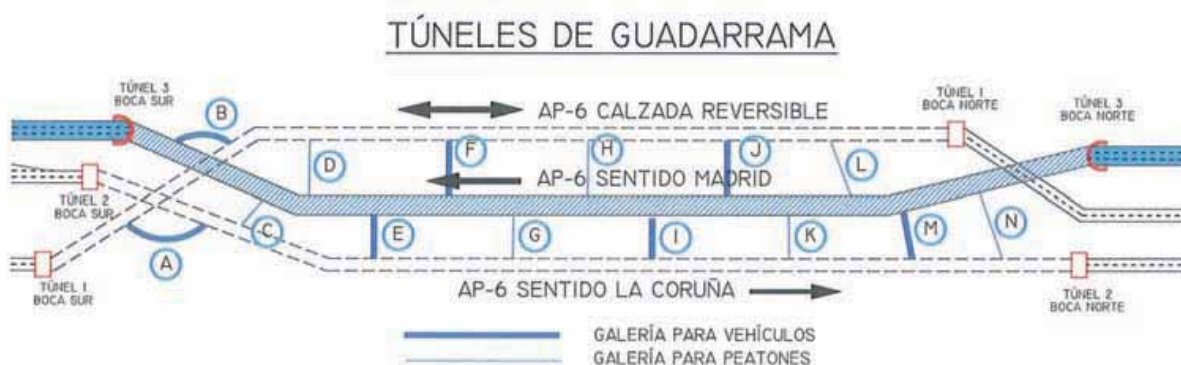
Así pues, la adaptación de los tres túneles a la Directiva Europea 2004/54/CE, y en particular a su trasposición al marco legislativo español mediante el Real Decreto 635/2006 de requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la red de carreteras del Estado, cada uno de ellos partiendo de una situación diferente, uno de nueva construcción, otro con una remodelación importante y el tercero mediante mejoras, ha sido uno de los aspectos más singulares de la actuación llevada a cabo. En los dos últimos casos, al partir de túneles existentes, no ha sido siempre posible adaptarse a lo exigido por la normativa, por lo que han debido justificarse medidas alter compensación mediante estudios particularizados y análisis de riesgos. El actual túnel 2 contaba inicialmente con unas características de diseño buenas tanto en lo referente a obra civil como a instalaciones, y en lo referente a instalaciones de seguridad ha sido adaptado a un nivel similar al de los otros dos túneles. El actual túnel 1 ha visto modificado el tipo de ventilación (originariamente de tipo semi-transversal), con el necesario desmantelamiento del falso techo, y la instalación de un nuevo sistema de ventilación longitudinal.

A continuación se describen las actuaciones más singulares que se han llevado a cabo en relación con la adecuación a la normativa de seguridad, tanto en lo que respecta a la obra civil como a la remodelación de las instalaciones.

Galerías Auxiliares de Seguridad y Apartaderos

La principal actuación en materia de seguridad creemos que ha sido el proyecto y construcción de catorce galerías auxiliares de seguridad que unen los tres túneles entre sí. El conjunto de galerías suma una longitud total de 2.211 m, siendo la distancia media entre salidas de emergencia de unos 190 metros en el nuevo túnel, de 360 metros en el primer túnel y de 380 metros en el segundo, cumpliendo las

**ADECUACIÓN DE LOS TÚNELES DE GUADARRAMA EN LA AUTOPISTA AP-6
AL REAL DECRETO 35/2006. ACTUACIONES REALIZADAS:
REPARACIÓN Y REHABILITACIÓN**



exigencias de la Directiva 2004/54/CE y del Real Decreto 635/2006. Las galerías son de dos tipos: el primero de sección que permite el paso de turismos y furgonetas de pequeños gálibo (2,6 m de gálibo vertical); y el segundo de sección que permite el paso de vehículos de emergencia de grandes dimensiones (3,5 m de gálibo



vertical). Ambos tipos se alternan en los túneles 1 y 2, comenzando por una galería de vehículos a partir del emboquille Sur. Esto da lugar a que en el túnel 3 la alternancia sea por parejas de tipos de galerías. Es decir, se han dispuesto siete galerías de cada tipo. Con esta disposición también se cumple el requisito para accesos de servicios de emergencia, que fija conexiones cada 1.500 m. Todas las galerías están dotadas de circuito cerrado de TV, iluminación, control de entrada de humos mediante instalación de ventiladores de presurización, y control de accesos mediante detectores de presencia.

El tercer túnel cuenta además con cuatro apartaderos, dos de ellos situados frente a los accesos a las galerías de conexión que coinciden con los Centros de Transformación ubicados en el interior del túnel, infraestructura que se ha incluido en el proyecto dadas las ventajas que proporciona respecto a operaciones de conservación y mantenimiento, así como de seguridad adicional en caso de averías y retirada de ve-

hículos. En los túneles existentes también se han construido tres apartaderos en cada uno de ellos, suponiendo en el caso del túnel 2 la obra civil de mayor envergadura realizada dentro de su actuación de adecuación a la nueva normativa.

Otras Actuaciones en la Infraestructuras

Los túneles 1 y 2 contaban inicialmente con un sistema de desagüe de calzadas mediante rejillas (imbornales) y colector. En ningún caso existían dispositivos tipo



Sistema de recogida de vertidos en calzada en los túneles antiguos

sifón para evitar la propagación de un vertido accidental de líquido inflamable. Debido a lo anterior, para ambos túneles se proyectó la remodelación completa del sistema de drenaje mediante instalación de un nuevo sistema dotado de caz de ranura y arquetas sifón similar al dispuesto en el nuevo túnel 3. El sistema se completó con la construcción de una balsa para decantación de aguas drenadas y contención de vertidos accidentales, similar a la construida para el caso del túnel 3.

En el caso del túnel 2 se realizó la remodelación del sistema de drenaje de manera similar a la del túnel 1, no habiendo sido necesaria en este caso la remodelación de la sección transversal. Para el tratamiento del vertido accidental se conectó el nuevo sistema de drenaje a la balsa para decantación dispuesta para el tratamiento de vertidos accidentales en el túnel 3.

Para la adecuación del túnel a la normativa fue preciso aumentar el gálibo, muy estricto en la situación de partida. En lo que respecta al falso techo del resto del túnel 1 no había ningún problema, puesto que iba a ser demolido por completo, al cambiarse el sistema de ventilación, como se indica más adelante. En cuanto a los edificios de ventilación en bocas el problema fue más complejo, y el estudio del mismo dio lugar a la solución finalmente ejecutada.

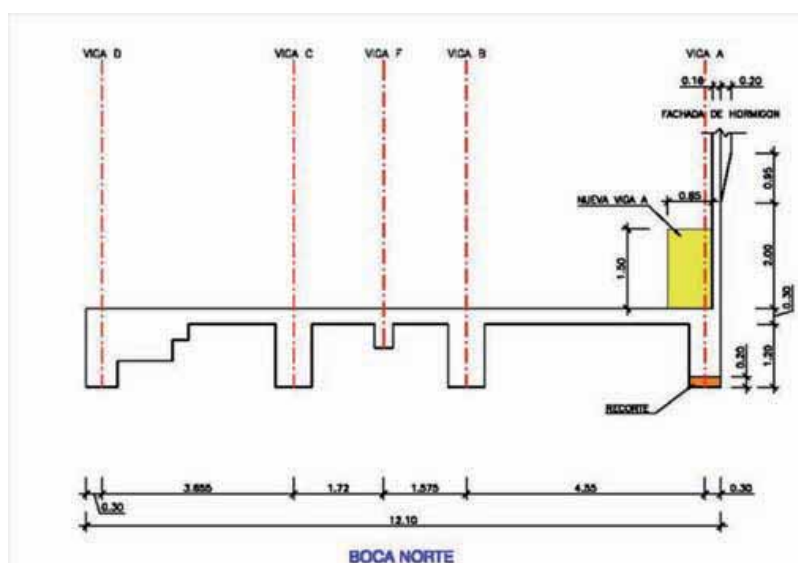
**ADECUACIÓN DE LOS TÚNELES DE GUADARRAMA EN LA AUTOPISTA AP-6
AL REAL DECRETO 35/2006. ACTUACIONES REALIZADAS:
REPARACIÓN Y REHABILITACIÓN**

Para dar el gálibo necesario se estimó necesario demoler la parte inferior de las vigas transversales exterior e interior en una altura de 0,50 m. Así pues, se estudió con detalle la disposición de unas nuevas vigas que pudieran suplir la pérdida de resistencia de las pre-existentes, a fin de que las estaciones de ventilación pudieran seguir del modo más aproximado posible en su estado inicial.



Adecuación de gálibo en bocas del túnel 1

La viga exterior se dispuso sobre la losa de la planta superior. Se ejecutó una viga de hormigón armado de 1,50 m de canto y 0,85 m de ancho cosida a la viga existente para facilitar la transmisión de las cargas. En el caso de la viga interior no se podía sustituir la misma por una viga de hormigón sobre la losa, dado que coincidía con las compuertas de los primitivos ventiladores. Así pues, se adoptó la solución de adosar exteriormente a la losa una viga de hormigón de 1,00 m de canto y 0,50 m de ancho cosida a la viga existente y apoyada en los hastiales de hormigón en masa.



En las proximidades de ambas bocas del túnel 1 se detectó una zona susceptible de generación de turbulencias por fenómenos aerodinámicos asociados al paso de los vehículos por una transición brusca de sección. Se estudió entonces una solución



Estructura de transición de sección en bocas del túnel 1

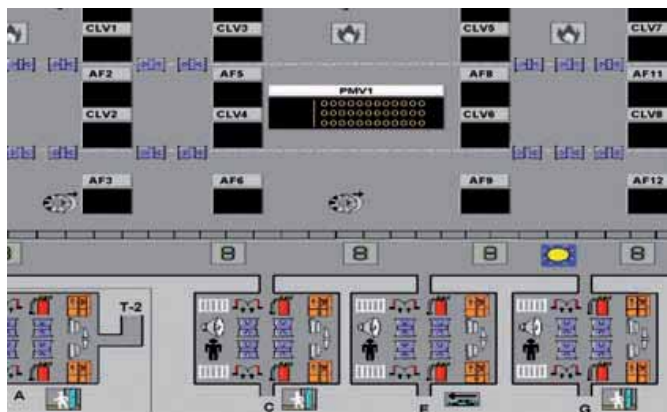
que pasaba por hacer menos brusco este cambio proponiendo una transición desde la sección abovedada de túnel puro hasta la sección rectangular que quedaba bajo la losa de sustentación de los ventiladores en la zona de los emboquilles.

La solución llevada a cabo consistió en una estructura mixta tipo sándwich, compuesta por dos chapas de acero galvanizado de 1,2 mm encerrando una manta de fibra de vidrio de 20 mm de espesor, siendo la chapa colocada en la cara vista (hacia la calzada) lisa y la colocada en la cara oculta (hacia la bóveda) perforada con taladros de 20 mm de diámetro en malla de 50x50 mm. La estructura portante consistió en la disposición de tubos galvanizados de 140x60x4 mm cuya forma se iba adaptando a la superficie reglada predefinida, trabados longitudinalmente mediante correas de perfil omega (Ω) de 100x3 mm.

Adecuación de las Instalaciones Principales

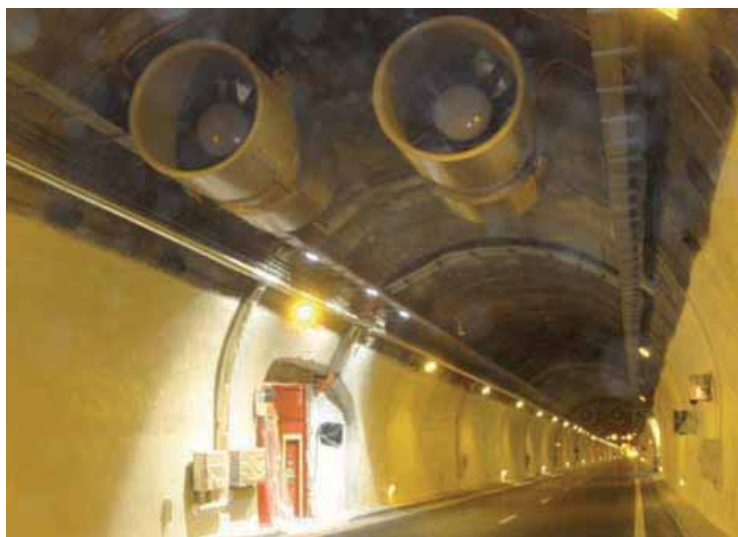
La ventilación en el nuevo túnel, la del túnel 1 adaptado a su nueva función de reversible, la de las galerías de seguridad, así como también la existente en el túnel 2, fueron objeto de un estudio específico en la fase de Proyecto. Se comprobó la capacidad de reacción del sistema frente a un incendio de 200 MW de potencia máxima (requerimiento de diseño propio, cuando las normativas consideradas en su momento y la actualmente vigente exigen la validación para el control de un incendio de 30 MW de potencia) teniendo en cuenta el fallo de 2 ventiladores por túnel, así como la destrucción de 4 ventiladores en caso de incendio, y conside-

**ADECUACIÓN DE LOS TÚNELES DE GUADARRAMA EN LA AUTOPISTA AP-6
AL REAL DECRETO 35/2006. ACTUACIONES REALIZADAS:
REPARACIÓN Y REHABILITACIÓN**



rando incluso las galerías de conexión y el sistema de sobrepresión a adoptar para evitar la entrada de humos.

El sistema de ventilación del nuevo túnel y la nueva del túnel 1 son de tipo longitudinal, suficientemente validado por los cálculos efectuados. El sistema permite asegurar el mantenimiento de la calidad del aire, tanto para los datos de tráfico del proyecto como para los valores máximos admisibles de saturación de los túneles, así como el control de los humos en caso de incendio, evitando su propagación en sentido contrario al de la circulación de los vehículos. Se han instalado jets de 75 kW (potencia unitaria) y diámetro interior 1.600 mm, 100 % reversibles.



Para el túnel 2, dotado de un sistema de ventilación pseudotransversal, se validó el mismo de acuerdo a lo indicado anteriormente, pero se modificaron los planes de actuación (operación de equipos y secuencia de entrada en funcionamiento) en función de la zona dónde se localizase el incendio. La modificación se hizo en

base a modelizaciones numéricas y al ensayo a escala real que se realizó en abril de 2008 una vez quedó cerrado al tráfico el túnel 2 para proceder a su adecuación a la nueva normativa.

Para las galerías auxiliares de seguridad se ha instalado un sistema totalmente independiente de la ventilación de los túneles; dicho sistema evita la entrada de humos a las mismas, manteniendo una sobrepresión de aproximadamente 80 Pa respecto al túnel incendiado mediante ventiladores axiales murales y rejillas de regulación de la entrada de aire, de manera que entran en funcionamiento los ventiladores instalados en el acceso al túnel limpio y se abren las rejillas del acceso al túnel siniestrado.

Circuito cerrado de TV y sistema DAI

Los sistemas ITS dispuestos para el control de la ventilación son: sensores de opacidad, medidores de concentraciones de monóxido de carbono y anemómetros para la medición de la velocidad longitudinal del aire circulante, además de la implantación de un sistema mediante fibroláser para la detección de incendio en túnel, aunque hay que subrayar que, de acuerdo a nuestras experiencias, el sistema de detección principal de cualquier emergencia (incluido incendio) es el DAI (Detección Automática de Incidentes).

El nuevo túnel, al igual que los otros dos, está vigilado permanente mediante una circuito cerrado de televisión y vigilancia 24 horas en centro de control. El sistema se constituye mediante la instalación de cámaras fijas dispuestas en el interior de cada túnel cada 125 m asociadas a las estaciones de comunicación SOS, y de doble cámara en cada galería, de manera que el túnel 3 y las nuevas galerías quedan cubiertos al 100%, como ya sucedía con los otros dos túneles.

Se completa el sistema con la instalación de un sistema de Detección Automática de Incidentes (DAI) mediante análisis de imágenes, integrado con la aplicación del centro de control. En los dos túneles existentes se ha aprovechado la actuación para sustituir el sistema existente por otro de última generación.

Extinción de incendios

Como sistema de extinción de incendios se ha instalado una red de distribución de agua, común para los tres túneles. Los hidrantes interiores, para uso exclusivo del personal de bomberos, se equidistan en unos 125 metros, y disponen de llave de seccionamiento a ambos lados. También se han dispuesto Bocas de Incendio (BIEs) que pueden ser utilizadas por los usuarios del túnel en caso de emergencia, y que se han dispuesto cada 41 metros. Se ha construido un depósito en boca norte



con su correspondiente grupo de presión localizado en el cuarto de bombeo anexo. El depósito tiene una capacidad de 120 m³. Además se han dispuesto extintores portátiles en las estaciones de comunicación SOS de cada túnel, en las galerías de emergencia y en los cuartos técnicos. En las galerías, de acuerdo a las sugerencias del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid, con quienes se validaron las instalaciones de extinción, se ha dispuesto un armario de uso exclusivo para equipos externos que contiene llaves y racores, extensión para mangueras y espumógeno, haciendo la instalación prácticamente autónoma.

Instalación de energía

Respecto a las instalaciones de alimentación de energía, se han aprovechado las acometidas preexistentes para dar un servicio integrado al conjunto de los tres túneles y galerías. En el nuevo túnel, por analogía con los existentes y, sobre todo por longitud y sistema de ventilación, se ha mantenido la filosofía de tres centros de transformación por cada hastial: tres alimentados por una compañía para el hastial oeste y tres alimentados por la otra para el hastial este. Los túneles disponen de doble alimentación: normal para la totalidad de la potencia demandada o contratada y con un solo punto de entrega, y complementaria para los equipos que deban seguir funcionando en caso de fallo del suministro normal. Los túneles disponían en origen de doble acometida por compañías diferentes y por distribución independiente, por lo que quedaba cumplimentado en este aspecto el Real Decreto 635/2006. En el caso de la disposición de grupos electrógenos, el proyecto original no contemplaba la instalación, por lo que fueron incorporados a través del Proyecto Modificado redactado al efecto.

Iluminación y control

Con respecto a la iluminación, además de la iluminación de servicio para la circulación del tráfico, y de las galerías y cuartos técnicos, proyectadas de acuerdo a las Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles, del Ministerio de Fo-

mento, también se ha dispuesto en los tres túneles un sistema de iluminación de emergencia mediante la instalación de luminarias fluorescentes a 0,8 m del nivel de calzada.



El sistema de iluminación ordinaria va auxiliado por un sistema de programación horaria y de control mediante sensores de luminosidad que mandan la información del nivel de iluminación exterior. A partir de esta información se actúa sobre los circuitos de iluminación correspondientes para conseguir los niveles de luminosidad adecuados en el interior del túnel.

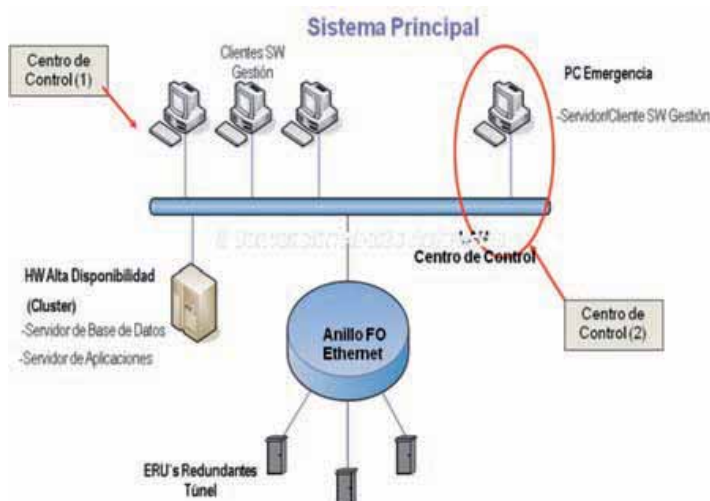
Señalización variable y control de accesos al túnel

Se ha instalado un sistema de señalización variable y corte de túnel, mediante Paneles de Mensajes Variables (PMVs) cada 1.000 m, en los túneles 1 y 3, de acuerdo a la normativa vigente, así como semáforos ámbar intermitentes en interior y de control para cierre y apertura de túnel en los accesos. El sistema, integrado en el que ya existía en la autopista de peaje AP-6, permite informar a los usuarios sobre incidencias en el interior o a la salida del túnel, siendo junto con el sistema de megafonía el método más directo y efectivo de comunicación entre el Centro de Control y los usuarios en caso de incidente.

En el caso del túnel 2, cuya singularidad radica en que el hecho de mantener el sistema de ventilación original obliga a conservar el falso techo existente y por tanto el gálibo vertical mínimo de 4,35 m, quedó obligado plantear una alternativa a la disposición de PMVs y de señales de limitación de velocidad y de aspa/flecha sobre cada carril, mediante la disposición de paneles de LEDs emplazados sobre horquillas en cada apartadero y de señales de limitación de velocidad/distancia mínima de separación, en nichos realizados ex-profeso en el hastial derecho del túnel cada 300 m.

Estaciones SOS

Se han instalado armarios SOS en los nichos contruidos en el nuevo túnel y en cada acceso a galerías, así como en cada apartadero, y nuevos armarios en los túneles 1 y 2. Este sistema permite atender las necesidades de comunicación entre el usuario en el túnel y galerías de evacuación, y el centro de control. Los equipos se disponen



en las bocas de acceso al túnel, en las galerías de evacuación y en interior de cada túnel separados entre sí entre 110 y 125 m, en cualquier caso por debajo de los 150 m exigidos por la normativa vigente. Cada pareja de equipos SOS tiene asociada una cámara de CCTV, de manera que cuando alguien pulsa el interfono, se enclava la cámara correspondiente en Centro de Control. En los nichos SOS del túnel 3 se indica al usuario, en español e inglés, que dicho lugar no puede emplearse como refugio en caso de emergencia y que se debe dirigir a la galería auxiliar de seguridad más cercana.

Comunicaciones

La red de comunicaciones proyectada está compuesta por los siguientes equipos: estaciones remotas; comunicación entre remotas y equipos de campo; y comunicación entre remotas y Centro de Control. También se ha instalado un sistema de comunicación vía radio que consta de tres canales VHF para servicios de emergencia y seis canales de radiodifusión en FM incluyendo inserción de mensajes.

Integración en el Centro de Control existente

Con motivo de la puesta en servicio de las autopistas AP-51 y AP-61 en 2003 y 2004 respectivamente, y controladas desde el mismo centro que la AP-6, éste se reformó completamente. La configuración es la siguiente: dos ordenadores principales



funcionando en configuración CLUSTER; un ordenador de emergencia; y una botonera de seguridad para el control electromecánico de la ventilación, iluminación y semaforización en caso de caída de los dos sistemas anteriores, en circuito independiente.

El criterio de diseño para la integración de las nuevas instalaciones del tercer túnel y las reformadas o añadidas en los otros dos túneles consistió en aprovechar al máximo las instalaciones existentes, manteniendo la aplicación de gestión operativa al cien por cien.



Conclusiones

La puesta en servicio de un sistema de tres túneles, uno de ellos reversible, realizada en julio de 2008, y al mismo tiempo su adaptación integral a la más moderna normativa de seguridad ha supuesto un hito en la historia de las infraestructuras viarias españolas e incluso europeas. El éxito en el diseño y en la ejecución de estas obras se trasladará con seguridad a la explotación de la instalación, afirmación avalada por los resultados satisfactorios que en la actualidad ya estamos obteniendo. En esta actuación se ha logrado una buena simbiosis entre las actuaciones de obra civil y las de instalaciones, optimizando el sistema en su globalidad. En particular, consideramos que en las mejoras introducidas han tenido particular relevancia las instalaciones ITS, tanto en lo referente a seguridad (y especialmente a la seguridad en los túneles) como en la gestión de la explotación.

Bibliografía

Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras (2004)

Real Decreto 635/2006, de 26 de Mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la red de carreteras del Estado

Proyecto de Construcción Ampliación de la autopista de peaje AP-6. Tramo: enlace del Valle de los Caídos – San Rafael. Clave 98-M-9006. Noviembre 2003. Ministerio de Fomento, Castellana de Autopistas, S.A.C.E., TYPESA

Proyecto ejecutivo de la Instalación del equipamiento de ITS del nuevo Túnel III de Guadarrama. Abril 2006. Castellana de Autopistas, S.A.C.E., INDRA

Proyecto ejecutivo de la Instalación del equipamiento de ITS del nuevo Túnel I, II y Calzada Reversible de Guadarrama. Junio 2008. Castellana de Autopistas, S.A.C.E., INDRA