

# **AMPLIACIÓN DE CAPACIDAD Y MEJORA DE LA SEGURIDAD MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO TÚNEL Y DE UNA CALZADA REVERSIBLE EN LA AUTOPISTA AP-6 EN LOS ACCESOS A MADRID**

R. PÉREZ ARENAS & S. RODÓN ORTIZ  
Dirección de Ingeniería de Obra Civil, abertis Autopistas España  
[rafael.perez@abertisautopistas.com](mailto:rafael.perez@abertisautopistas.com)  
[santiago.rodon@abertisautopistas.com](mailto:santiago.rodon@abertisautopistas.com)

## **RESUMEN**

La autopista de peaje AP-6 presentaba hace unos años en la zona de paso de la Sierra de Guadarrama – a unos 60 km al noroeste de Madrid- serios problemas de congestión en periodos punta de salida y retorno de fines de semana y festivos de manera continuada, con una IMD –intensidad media diaria- superior a los 85.000 vehículos diarios en dichos periodos. En ese punto, el paso bajo las montañas se resolvía mediante dos túneles de unos 3.000 m de longitud que fueron construidos en épocas diferentes. Esta comunicación analiza los criterios de diseño y proyecto de la solución de ampliación de capacidad llevada a cabo y la modificación del sistema de circulación existente, utilizando en ese tramo una de las calzadas para su operación en reversible.

En la comunicación también se analizarán los aspectos de diseño y proyecto de los accesos a dicha calzada reversible así como los correspondientes a operación y seguridad del sistema, y se expondrán las experiencias registradas hasta la fecha al respecto. Al mismo tiempo, se ha realizado la adecuación de dos túneles existentes en el tramo a los requisitos de seguridad exigidos por la vigente normativa de seguridad para túneles carreteros (Directiva 2004/54/CE) y su transposición al ordenamiento jurídico español.

## **1. PRESENTACIÓN Y ESQUEMA GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA**

En la autopista de peaje AP-6, entre las localidades de Las Rozas y San Rafael (a unos 60 km de Madrid), se han realizado en los últimos años una serie de actuaciones entre las cuales se incluye la construcción de un tercer túnel bajo la sierra de Guadarrama, de manera que en un tramo de unos 13 km, se dota a la autopista de tres calzadas, una de ellas a operar en reversible (fig.1).



“Figura 1 – Localización de los túneles”

El sistema de túneles de Guadarrama se localiza en la autopista AP-6, entre el punto kilométrico 49, donde se localiza el distribuidor de tráfico sur, y el punto kilométrico 59 donde se localiza el distribuidor de tráfico norte antes del peaje de San Rafael.

En agosto de 2004 dieron comienzo las obras de construcción del tercer túnel de Guadarrama y de la nueva calzada que da acceso al mismo y la actuación completa finalizó en julio de 2008.



“Figura 2 – Túneles de Guadarrama. Boca Sur”

Se ha dado la circunstancia de que el tercer túnel es uno de los primeros en España que entra en servicio de acuerdo a la nueva normativa de seguridad española. Así, el Real Decreto 635/2006, sobre requisitos mínimos de seguridad en túneles de carreteras del Estado, promulgado para dar cumplimiento a la exigencia de transposición al derecho español de la Directiva Europea 54/2004/CE, se erige como norma a seguir tanto para los nuevos túneles que entren en servicio como para los que ya estén en explotación. Al respecto hay que decir que la norma española es, en su conjunto, bastante más exigente que la norma europea.



“Figura 3 – Configuración en Operación Salida”

Una vez terminadas la totalidad de las actuaciones previstas, la autopista cuenta con tres túneles, túnel 1 (2.870 m), túnel 2 (3.340 m) y túnel 3 (3.148 m), por orden cronológico de construcción y puesta en explotación. Además, consta de dos distribuidores de tráfico.

El túnel 1, que hasta ahora ha dado servicio a la calzada en sentido Madrid para todo tipo de vehículos, forma ahora parte de una calzada reversible, pudiendo funcionar en sentido Madrid o La Coruña según las características de la demanda o las condiciones de la calzada. En principio, por esta calzada reversible sólo circulan vehículos ligeros, salvo que

por circunstancias puntuales se tenga que permitir el paso de vehículos pesados (cierres de túnel 2 ó 3 por incidente grave, obras o trabajos de mantenimiento, por ejemplo).

El túnel 2 discurre en sentido A Coruña. Circulan tanto vehículos pesados como ligeros por este túnel.

El túnel 3 discurre en sentido Madrid. Circulan por él tanto vehículos ligeros como pesados. Su trazado es sensiblemente paralelo al del túnel 2 cruzando ambos sobre el del túnel 1 a unos 250 m de la boca Sur (fig. 2). A partir de aquí su trazado discurre prácticamente equidistante en planta y alzado entre los otros dos.



“Figura 4 – Configuración en Operación Retorno”

Pero sin duda, la actuación más importante desde el punto de vista de la seguridad durante la explotación es la construcción de trece galerías auxiliares de seguridad que unen el nuevo túnel 3 con los túneles 1 y 2 y una más que une los dos túneles actuales (fig. 5). El conjunto de galerías suma una longitud total de 2.211 m, siendo la distancia media entre salidas de emergencia de menos de 190 metros en el nuevo túnel, de 360 metros en el primer túnel y de 380 metros en el segundo, cumpliendo sobradamente las exigencias de la Directiva 2004/54/CE, en la que se marca una interdistancia mínima de 500 m, así como las de la norma española, más exigente al respecto, al marcar 400 m de interdistancia mínima. Las galerías de vehículos y peatonales se alternan en los túneles 1 y 2, comenzando por una galería de vehículos a partir del emboquille Sur.



“Figura 5 – Esquema de túneles y galerías”

Esto da lugar a que en el túnel 3 la alternancia sea por parejas de tipos de galerías. Por tanto, siete de las galerías tienen una sección que permite el acceso de vehículos de emergencia y extinción de incendios, con 5 m entre paramentos y 3,5 m de gálibo. Como

las galerías para vehículos están alternadas con las galerías exclusivas para peatones, también se cumple el requisito para accesos de servicios de emergencia de la normas europea y española, que fijan conexiones cada 1.500 m. [3]

## 2. DISEÑO DE LOS DISTRIBUIDORES DE TRÁFICO

### 2.1. Esquema funcional

En el esquema funcional propuesto para la ampliación, la calzada que se ha utilizado para soportar el tráfico en sentido Madrid hasta la puesta en servicio del nuevo túnel se ha habilitado como calzada reversible, en uno u otro sentido en función de las condiciones del tráfico. La operación con tres calzadas se realiza actualmente sólo en casos de necesidad, y sólo para el tráfico de vehículos ligeros, lo que supone una mejora en sí de las condiciones de seguridad para los usuarios del túnel 1 ya que es el que cuenta con mayores limitaciones, tanto de sección como de pendiente. Por tanto este túnel servirá durante la mayor parte del tiempo como galería de evacuación y de acceso de vehículos de emergencia en caso de accidente, así como para las operaciones rutinarias de mantenimiento, al estar conectado con el nuevo túnel, y a través de éste con el túnel 2, por un sistema de galerías auxiliares. [3]

La calzada reversible ha sido diseñada para que automáticamente pueda abrirse o cerrarse en uno u otro sentido. En ambos extremos del tramo hay distribuidores de tráfico para acceder a la calzada reversible o incorporarse desde la misma. [2]

### 2.2. Diseño del trazado



“Foto 1 – Distribuidor Sur”

Desde el punto de vista del diseño de trazado, para el Distribuidor Sur (foto 1) existían importantes condicionantes debido a que obligatoriamente se debía ubicar en un tramo concreto que no alcanzaba los 2.000 m, entre un enlace y un viaducto. Este tramo se ubica en una amplia curva a izquierdas y con una pendiente de aproximadamente el 6%. En el sentido ascendente (carga) el tratamiento dado ha sido el de una bifurcación, pasando de una calzada de 4 carriles a dos calzadas de 2 + 3 carriles. Era por tanto

obligatorio realizar el diseño con una longitud de transición holgada de 4 a 5 carriles antes de la separación de carriles, y luego proceder también a realizar la transición de 4 a 3 carriles en la calzada de sentido ascendente (sentido La Coruña). Para la incorporación, el diseño ha sido de una confluencia de dos calzadas de 2+3 carriles a una de 4 carriles, sin mayores complicaciones, excepto la proximidad del carril de deceleración del enlace inmediatamente siguiente. [2]

El Distribuidor Norte se emplazó aprovechando la salida del peaje semitroncal de San Rafael, y también venía condicionado por el viaducto del mismo nombre, ubicado a unos 2.000 m del peaje. Aquí las dificultades de carga son menores, ya que es posible “dedicar” vías de peaje a cada calzada.

### 2.3. Diseño de las instalaciones mecánicas e ITS

Desde el punto de vista de las instalaciones ITS -sistemas inteligentes de transporte-, éstas son absolutamente imprescindibles para poder operar con fluidez y seguridad la apertura y el cierre de la calzada en ambos sentidos. Para ello, y basándonos en el diseño de la calzada Bus-VAO -vehículos de alta ocupación- que lleva más de una década operándose satisfactoriamente en la A-6 entre Puerta de Hierro y Las Rozas, fue diseñado un sistema de barreras horizontales abatibles y balizas luminosas de guiado como señalización horizontal, reforzado por un completo sistema de señalización variable (paneles y aspás/flechas). A lo anterior se suma un circuito cerrado de TV con cobertura total en el tramo que permite el seguimiento y supervisión de las operaciones desde el Centro de Control. El sistema se ha diseñado para que las operaciones de apertura y cierre puedan realizarse de manera totalmente automática, aunque inicialmente éstas se realizaron con presencia in-situ de personal de explotación para validar la ejecución de los algoritmos programados en el sistema y a la vez reforzar con su presencia lo que los paneles (foto 2) y aspás/flechas indicaban en cada momento. [4]



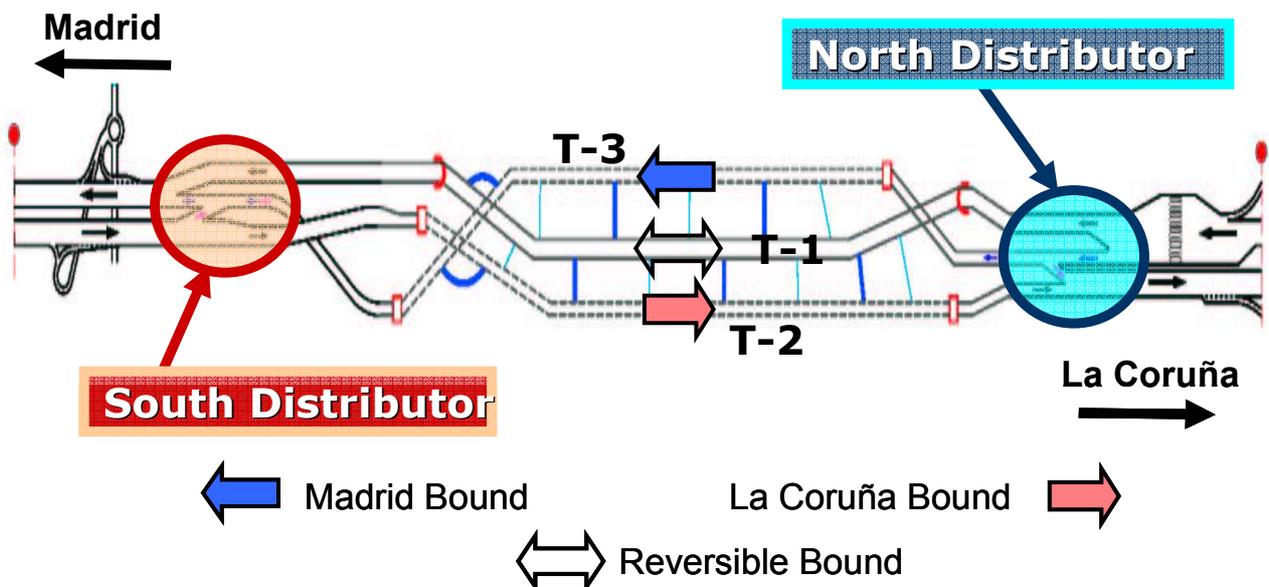
“Foto 2 – Panel de mensaje variable en Distribuidor Sur”

Todo el alumbrado de esta calzada reversible se controla desde siete centros de mando colocados a lo largo de la vía desde los cuales se gestiona automáticamente el activado y desactivado del alumbrado, las señales de estado de los grupos electrógenos y las señales de estado de puertas y celdas de media tensión. La gestión de los equipos ITS se

realiza a través de concentradores de señales, que cuelgan de cuatro estaciones remotas (ERU's) nuevas y el resto de las ERU's existentes por la calzada.

### 3. GESTIÓN DEL TRÁFICO. APERTURA DE LA CALZADA REVERSIBLE

Para la operación de apertura y el cierre de la calzada reversible (fig. 6) se elaboraron una serie de protocolos de operación que además incluyen los criterios para decidir la utilización o no de dicha calzada. A este respecto se determinó que la calzada reversible debe abrirse (en uno u otro sentido) en los siguientes casos: accidente grave en uno de los túneles no reversibles con afección a la calzada durante un largo intervalo de tiempo; congestión de tráfico importante en un túnel no reversible debida a operaciones de salida o retorno; operaciones de mantenimiento con afección importante al tráfico; realización de un simulacro. Para las causas no programadas, accidentes y congestiones, se regula el aviso previo al Jefe de Servicio quien solicitará autorización al Jefe de la Unidad de Operaciones y al Director de Explotación. [2]



"Figura 6 – Esquema de calzadas"

#### 3.1. Inspección previa.

Un vehículo de vialidad del Centro de Control recorre toda la calzada reversible, en sentido contrario a la circulación prevista, para verificar que todos los elementos de señalización y barreras están en el estado que el sentido de la circulación exige. Además se comprueba el estado de la calzada y la ausencia de obstáculos fortuitos o derivados de posibles trabajos anteriores. Ningún vehículo de servicio debe permanecer en la calzada. El coordinador de vialidad que realice la inspección debe llevar una lista de comprobación que deberá ser cumplimentada y firmada.

### 3.2. Activación del plan de Señalización. [2]

El plan de señalización está programado en la aplicación GIE, Gestor integrado de Equipos, y se ejecuta por fases o planes, que en el caso de apertura de la calzada se ejecutarán siempre en sentido contrario de la marcha, excepto el establecimiento del sentido de circulación del túnel que será la primera operación a realizar, mientras que para el cierre de la calzada los planes se ejecutarán en el sentido de la circulación.

- Apertura y cierre de la calzada en sentido Coruña (DC).
  - a) Circulación túnel en sentido Coruña (actuación en todos los sistemas)
  - b) Lanzar plan Abrir Distribuidor Norte DC: actuación en PMVs, paneles aspa/flecha y barreras móviles y balizas luminosas (encendidas sentido Coruña y encendidas sentido Madrid, cerrando acceso)
  - c) Lanzar plan Abrir calzada T1 DC (ventilación en automático)
  - d) Abrir barreras distribuidor Sur
  - e) Señalizar Distribuidor Sur DC y abrir carril izquierdo distribuidor Sur
  - f) Abrir carril derecho distribuidor Sur
  - g) Cierre distribuidor Sur: Apagado de instalaciones de los pasos e) y f) y se espera 10 min. para cierre de barreras bisagra DC.
  - h) Cierre total calzada y túnel: normalización pasos b), c) y d)
  
- Apertura y cierre de la calzada en sentido Madrid (DM).
  - a) Circulación túnel en sentido Madrid (actuación en todos los sistemas)
  - b) Lanzar plan Abrir distribuidor Sur DM: actuación en PMVs, paneles aspa/flecha y barreras móviles y balizas luminosas (encendidas sentido Madrid y encendidas sentido Coruña, cerrando acceso)
  - c) Lanzar plan Abrir calzada T1 DM (ventilación en automático)
  - d) Conectar salida playa peaje para guiado del tráfico a una u otra calzada
  - e) Abrir barreras y carriles Distribuidor Norte
  - f) Señalizar Distribuidor Norte DM
  - g) Cierre distribuidor Norte (foto 3): Apagado de instalaciones del paso f) y se espera 10 min. para cierre de barreras bisagra DM.
  - h) Cierre total calzada y túnel: normalización pasos b), c) y d)



“Foto 3 – Panel de mensaje variable en Distribuidor Norte”

#### **4. GESTIÓN DE EMERGENCIAS. EXPERIENCIAS RECIENTES**

Las emergencias producidas desde que quedaron habilitadas las galerías de conexión entre túneles, en marzo de 2007, se han reducido a varias de nivel 0 y 1 (presencia de fenómenos meteorológicos adversos a la salida de un túnel; llamada desde un poste SOS; paso de vehículos especiales con autorización; vehículo detenido en calzada sin obstruir el tráfico o con obstrucción parcial; paso de servicios especiales; circulación intensa; vehículo detenido en apartadero; detección de vehículo con exceso de gálibo; etc...), que pueden considerarse como situaciones frecuentes o habituales que forman parte de la gestión ordinaria de la explotación de los túneles. Ninguna de estas emergencias, por su propia naturaleza y tal y como definen los correspondientes protocolos de actuación, conllevó la necesidad de activar el Plan de Evacuación.



“Foto 4 – Inicio de la emergencia”

Sin embargo, sí se ha dado lugar un tipo de emergencia que ha llevado a desencadenar el Plan de Evacuación [2]. Esta emergencia es la producida por la rotura del turbocompresor en un vehículo pesado, normalmente con cargas próximas a las máximas autorizadas, y que accede al Túnel 2 con el motor forzado tras los seis kilómetros de ascenso al 5%, previos a la entrada del túnel. Este incidente tiene la característica de que su detección se realiza inicialmente a través de sistema DAI asociado al circuito cerrado de televisión, una vez el vehículo se detiene y ha comenzado ya a generar una gran cantidad de humos, lo que dificulta que el operador de Centro de Control pueda identificar visualmente la causa de la generación de estos humos. Por lo tanto, a falta de más datos y con la premisa de que cuando antes se actúe más eficaz será la intervención, se cataloga la emergencia como la más grave, al desconocerse el origen de los humos.

#### 4.1. Emergencia real



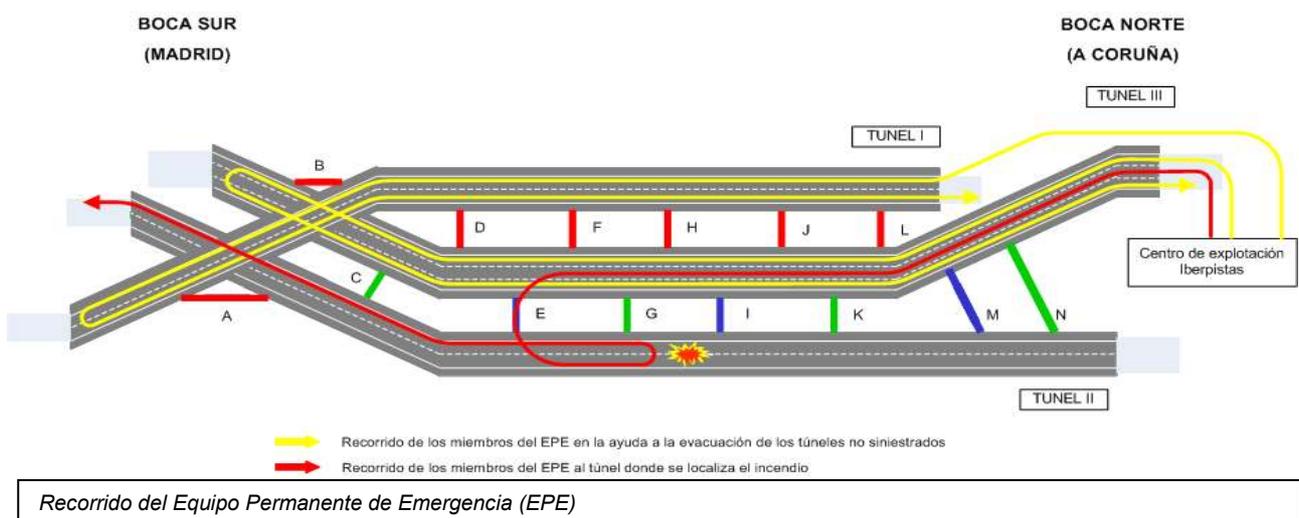
“Foto 5 – Control de humos por la ventilación”

En una de las situaciones reales producidas, que pasamos a detallar a continuación, la intensidad del tráfico era moderada-alta (aproximadamente 1.500 vehículos a la hora) y las condiciones meteorológicas en el exterior buenas (despejado). En ese caso, la detección se realizó a través del sistema DAI –Detección Automática de Incidentes-, que

dió aviso en Centro de Control por vehículo detenido en calzada en el interior del Túnel 2 (sentido La Coruña). Como consecuencia se produjo el enclavamiento de la cámara ubicada en el lugar del incidente, siendo posible detectar parcialmente el origen de la incidencia al observarse una gran cantidad de humo muy concentrado, pero sin llegar a determinar la causa concreta y el tipo de vehículo o vehículos involucrados en el incidente (fotos 4 y 5). El sistema de grabación continua de la que está dotado el sistema DAI permite la conservación de la grabación de todas las cámaras desde 10 minutos antes de que se produzca el aviso hasta el fin de la emergencia. Gracias a esta disposición, se pudo reconstruir al detalle la gestión de la emergencia.

Dado el tipo de incidente presentado y la información con la que se contaba, de manera inmediata se activó el protocolo de actuación correspondiente a emergencia catalogada como “fuego en túnel o explosiones en vehículos o instalaciones con riesgo de extenderse”. La primera medida tomada de manera inmediata fue la de activar la señalización de emergencia en túnel (luces ámbar intermitentes en ambos hastiales), la iluminación de refuerzo en todo el túnel y la comunicación de la emergencia al Equipo Permanente de Emergencia (EPE).

A continuación, se desencadenó el procedimiento de corte del Túnel 2, en primera instancia, y de corte del Túnel 3 a continuación, para poder facilitar el acceso de los vehículos de primera intervención desde la base de explotación a través de las galerías que conectan ambos túneles (fig. 7). El Plan de Corte de Túnel desencadenó automáticamente y sin fallos el protocolo de señalización en exterior a través de los paneles de mensajes variables, de los paneles aspa/flecha en bocas y de los semáforos y barreras de cierre. También simultáneamente se activó el Protocolo de Ventilación, tanto en el Túnel 2 como en las galerías de evacuación para dotarlas de sobrepresión de manera inmediata. Respecto al comportamiento de los humos, aunque la potencia de generación no debía ser mucha, se comprobó que se produjo inicialmente el fenómeno de “backlayering” o retroceso de humos por flotabilidad, aunque sólo en unos pocos metros, lo que permitió que quedara libre de humos en todo momento la zona aguas arriba del incendio ocupada por los vehículos detenidos.



“Figura 7 – Recorrido del Equipo Permanente de Emergencia (EPE)”

En la comunicación con Centro de Control se informó por el agente de campo de que no había accidentados y que el vehículo tenía quitado el contacto, no generándose más humos. Se decidió en ese momento por parte del Jefe de Servicio dar aviso a los agentes externos: Guardia Civil de Tráfico (que ya está al tanto de la emergencia al compartir

emisora con los servicios de explotación de Iberpistas-abertis), Bomberos de la Comunidad de Madrid y del Ayuntamiento de Segovia, Servicios Sanitarios y Protección Civil, a través del 112 y de números directos.

#### 4.2. Activación del Plan de Evacuación

Simultáneamente se activó el Plan de Evacuación. El Plan de Emergencia Interior contempla específicamente la situación transitoria de tener que evacuar el Túnel 2 estando el Túnel 1 cerrado por obras de remodelación. Los usuarios comenzaron a abandonar sus vehículos incluso de motu propio antes de ser avisados a través de la megafonía y de las emisoras FM con señal en el interior del túnel, a través de las cuales, e interrumpiendo la emisión, se insertaron los mensajes de aviso especificados en el protocolo de actuación: "Túnel bloqueado por accidente. Deténgase con el motor parado y las luces de emergencia puestas. Espere instrucciones". En el Centro de Control se recibieron varias llamadas de usuarios a través de los postes SOS solicitando información e instrucciones. La entrada en las galerías se inició apenas unos tres minutos (3'00") después de originarse la emergencia. La efectividad de la medida tomada, aún teniendo en cuenta que muchos de los afectados la tomaron por propia iniciativa, y la también efectividad de los sistemas ITS involucrados (megafonía y radiofrecuencia) se evaluó de manera altamente positiva.

#### 4.3. Comportamientos positivos y negativos

Como pudo comprobarse, no todas las personas siguen las instrucciones dictadas, de manera que algunos conductores efectuaron maniobras en el sentido de disponer sus vehículos estacionados en el arcén e incluso de circular marcha atrás o dar media vuelta. Estas maniobras, que surgen espontáneamente con el fin de tratar de liberar la calzada, suponen un grave riesgo añadido además de provocar un efecto contrario en el caso de ocupar el arcén, ya que éste tiene un ancho suficiente para que los vehículos de emergencia puedan aproximarse todo lo posible a la zona del incidente. Por otra parte, otro aspecto negativo detectado fue que muy pocos vehículos respetaron la distancia mínima de seguridad con el vehículo precedente en el momento de llegar a la cola de la retención.

Sin embargo, como aspecto muy positivo en la gestión de la emergencia hay que destacar el hecho de que la presencia en el túnel de personal de la concesionaria, debidamente formado e identificado y con instrucciones claras y precisas, generó confianza y seguridad y garantizó el guiado y la rápida evacuación de las personas que estaban en el túnel hacia las salidas de emergencia, así como el retorno a los vehículos una vez que el túnel estuvo fuera de peligro. La evacuación en se realizó en aproximadamente 7 minutos y medio (7'30") desde la activación del Plan de Evacuación. La vuelta a los vehículos también se llevó a cabo de una manera rápida (prácticamente a los veinticinco minutos (25'00") de detectada la emergencia), y permitió reabrir el túnel 3 (el de sentido Madrid) en menos tiempo del previsto.

#### 4.4. Vuelta a la normalidad



“Foto 6 – Interior de galería”

La restitución de las condiciones de explotación no presentó mayor problema, y sólo se aseguró la apertura del túnel 2 una vez salieron del mismo todos los vehículos que estaban retenidos en su interior, incluido el vehículo causante de la emergencia, que fue retirado con ayuda de una autogrúa, habiendo comprobado esto mismo la Guardia Civil de Tráfico haciendo circular un vehículo en toda la longitud del túnel y haciéndose también un chequeo a través del Centro de Control mediante el Circuito Cerrado de Televisión visualizando si en el interior de las galerías quedaba alguna persona (foto 6). En el caso concreto de esta emergencia, la duración completa de la misma fue de 59 minutos (hasta que el tráfico quedó totalmente regularizado), con una duración del corte del túnel 2 de 42 minutos, y del túnel 3 de 31 minutos, tiempos estos que pueden considerarse razonables y muy cercanos a los “teóricos” obtenidos del simulacro realizado por Iberpistas-abertis antes de la apertura del túnel 3.

## 5. CONCLUSIONES

La experiencia relativa a la operación de la calzada reversible ha sido hasta el momento altamente satisfactoria. Destaca el hecho relevante de la singularidad y efectividad que presenta la apertura en dos fases del Distribuidor Sur (primero el carril izquierdo, de carga directa, y luego el derecho en una segunda fase) auxiliándose de los paneles aspa/flecha y de la doble hilera de balizas luminosas encastradas en el firme. Otro punto a destacar es que el hecho de que el distribuidor Sur se localice en una rampa de pendiente significativa y en una amplia curva a izquierdas facilita que los vehículos accedan, en general, a velocidades moderadas (sin producirse frenazos que provocarían retenciones que incluso pondrían en cuestión la infraestructura realizada) y “de manera natural”. Las intensidades máximas registradas avalan este hecho, con puntas de 2.300 vehículos en la calzada reversible y 2.800 en la calzada sentido La Coruña.

En lo que respecta a la seguridad, las principales conclusiones relativas a los equipos y aplicaciones ITS involucrados son las siguientes:



“Foto 7 – Salida túnel 3”

- Los sistemas ITS de detección funcionaron perfectamente. Se comprobó la alta efectividad del sistema DAI, que en un alto porcentaje de los casos es el que da el primer aviso de alarma.
- El Plan de Corte de Túnel y el Protocolo de Ventilación se desencadenaron automáticamente y sin fallos.
- Quedó confirmado que la gestión de la primera intervención, que es la realizada con los medios propios del operador del túnel, es absolutamente decisiva.
- Quedó confirmada la bondad del diseño del Plan de Evacuación.
- Comportamiento en general positivo de los usuarios involucrados en la emergencia, ya que muchos abandonaron sus vehículos incluso de motu propio y comenzaron a dirigirse a las salidas de emergencia, mientras otros solicitaban ayuda a través de los postes SOS.
- Alta efectividad de los sistemas ITS involucrados en la evacuación (megafonía y radiofrecuencia), así como de los mensajes emitidos.

Cabe resaltar que el estudio y análisis de situaciones como éstas se realizan siempre por parte de Iberpistas-abertis, generándose informes que ayudan a mejorar la gestión.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez Arenas, R y Rodón Ortiz, S (2009). Gestión de tráfico y seguridad en un sistema de tres túneles: los túneles de Guadarrama en la AP-6. ITA World Tunnel Congress 2009, Budapest (Hungary).
2. Iberpistas-abertis (2008). Manual de Explotación de los túneles de Guadarrama. Autopista de peaje AP-6.
3. Ministerio de Fomento, Castellana de Autopistas, S.A.C.E., TYPESA (2003). Proyecto de Construcción Ampliación de la autopista de peaje AP-6. Tramo: enlace del Valle de los Caídos – San Rafael. Clave 98-M-9006.
4. Castellana de Autopistas, S.A.C.E., INDRA (2006). Proyecto ejecutivo de la Instalación del equipamiento de ITS del nuevo Túnel III de Guadarrama.
5. Castellana de Autopistas, S.A.C.E., INDRA (2008). Proyecto ejecutivo de la Instalación del equipamiento de ITS del nuevo Túnel I, II y Calzada Reversible de Guadarrama.