

## ANEXOS

### ANEXO A: PUNTOS DÉBILES TÍPICOS Y POSIBLES MEDIDAS DE MEJORA

#### A.1 SISTEMAS DE DRENAJE

Descripción del problema de seguridad: estos dos casos describen el problema típico de adaptación de los sistemas de drenaje en túneles de carretera existentes para tratar los incidentes con vehículos de mercancías peligrosas (escenarios con derrames accidentales o de incendio).

##### A.1.1 Construcción de conductos específicos con sifones, corta fuegos y ríogolas

**Objetivo:**

- reducir la superficie de pavimento afectada en caso de vertido, especialmente con mercancías peligrosas;
- reducir la intensidad del incendio (tamaño, tiempo de desarrollo, propagación).
- evitar la propagación del incendio por el sistema de drenaje;
- evitar la necesidad de un sistema de vigilancia.

**Condicionantes constructivos:**

- posibilidad de construcción mediante cierres nocturnos con cierre de un solo carril, si es posible;
- bajo impacto en el tráfico;
- baja molestia para los usuarios;
- refuerzo temporal de la señalización y de los agentes de vigilancia;
- el sistema de drenaje debe renovarse por completo.

**Consecuencias para la explotación:**

- procedimientos de mantenimiento adicionales para el nuevo sistema.

##### A.1.2 Construcción de depósitos de almacenamiento

**Objetivo:**

- mejora de la seguridad en las bocas del túnel;
- protección medioambiental de los recursos hídricos.

**Condicionantes constructivos:**

- construcción fuera de la zona destinada al tráfico;

- no se producen molestias a los usuarios;
- refuerzo temporal de la señalización y de los agentes de vigilancia.

**Consecuencias para la explotación:**

- requiere mantenimiento;
- impacto sobre el sistema SCADA (nuevos sensores sobre el sistema existente);
- adaptación del Plan de Emergencia.

## A.2 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: la estructura y los sistemas mecánicos y eléctricos deben protegerse para mantener las condiciones funcionales en caso de incendio. Estos ejemplos tratan casos en los que la resistencia al fuego de la estructura y los cables es insuficiente.

### A.2.1 Estructura resistente al fuego

**Objetivo:**

- proteger la estructura.

**Condicionantes constructivos:**

- en caso de trabajos complejos asociados a grandes actuaciones en la obra civil es necesario cerrar el tubo;
- en caso de reparación de las placas de protección o de las técnicas de pulverización se hace preciso cierres nocturnos. El tiempo de cierre dependerá de los procedimientos y de la organización;
- impacto en el tráfico;
- molestias para los usuarios.

**Consecuencias para la explotación:**

- actualización del Plan de Emergencia;
- la aplicación de protecciones puede requerir quitar o reinstalar algunos sistemas (luminarias, CCTV, etc).

### A.2.2 Protección contra incendios en cables

**Objetivo:**

- Proteger los cables.

**Condicionantes constructivos:**

- construcción de una canalización u otra instalación;
- complicación frecuente: los cables deben retirarse temporalmente - requieren mantenimiento;
- debe ser posible la ejecución durante los cierres nocturnos;
- parte del trabajo requiere el cierre del túnel. El periodo de cierre depende del procedimiento constructivo y de la organización;
- impacto en el tráfico;
- molestias a los usuarios.

**Consecuencias para la explotación:**

- actualización del Plan de Emergencia.

### **A.3 TRABAJOS DE RENOVACIÓN QUE REQUIEREN MONITORIZACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL**

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: puede darse el caso de que en túneles antiguos no se disponga de sistemas apropiados de monitorización y de una plataforma SCADA. El objetivo sería el de implementar dichos sistemas para cumplir la normativa y los objetivos en términos de explotación y planes de respuesta a la emergencia. Si estos sistemas se implementan deberán realizarse algunas adaptaciones debido a la modificación de otros sistemas.

#### **A.3.1 Sistemas de señalización**

**Objetivo:**

- mejorar la señalización y la comunicación con los usuarios;
- mejorar el guiado hacia las vías de escape;
- mejorar la gestión del tráfico;
- sistemas para detener el tráfico a la entrada del túnel y en el túnel (barreras, luces);
- supervisión desde el Centro de Control.

**Condicionantes constructivos:**

- señalización en los hastiales: es posible su instalación durante los periodos de cierre nocturno;
- señalización sobre la calzada: se prepara en el exterior y se instala durante la noche con un breve cierre del tubo para el izado y la fijación;

- cables para el suministro y control remoto: instalación durante la noche con el carril cerrado;
- bajo impacto sobre el tráfico;
- baja molestia a los usuarios;
- refuerzo temporal de la señalización y patrullas;
- pruebas durante los periodos de poco tráfico.

**Consecuencias para la explotación:**

- actualización del Plan de Emergencia;
- se requiere una actualización del software del SCADA.

## A.4 SALIDAS DE EMERGENCIA

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: este caso se refiere a la dificultad que se presenta para añadir nuevas salidas de emergencia para reducir la distancia entre las vías de escape para cumplir con los requisitos de la normativa.

### A.4.1 Ejemplo para túneles de dos tubos

**Características del túnel:**

- túnel unidireccional de dos tubos;
- pavimento en buenas condiciones.

**Condicionantes constructivos:**

- si el cierre de un tubo es aceptable:
  - no presenta dificultades especiales, pudiendo restablecerse las condiciones para poder reabrir a tiempo cada mañana;
- si el cierre de un tubo no es posible:
  - la construcción debe hacerse durante la noche;
  - debe cerrarse el carril izquierdo y reducirse el ancho del carril derecho;
  - se efectuarán cierres temporales cortos.

**Soluciones alternativas:**

- galerías de comunicación;
- construcción de una galería de evacuación paralela.

**Consecuencias para la explotación:**

- adaptación del Plan de Emergencia (acceso de los equipos de rescate);
- monitorización (actualización del SCADA);
- trabajando en condiciones mínimas de explotación durante los trabajos.

#### **A.4.2 Ejemplo para túneles de un tubo**

##### **Características del túnel:**

- túnel bidireccional de un tubo y dos carriles.

##### **Condicionantes constructivos:**

- son necesarias conexiones especiales desde los refugios;
- procedimientos de explotación específicos.

##### **Soluciones alternativas:**

- construcción de nuevas salidas de emergencia;
- galería paralela como vía de escape desde los refugios;
- utilización del espacio disponible en el túnel para nuevas vías de escape protegidas contra el fuego (por ejemplo en la clave o los hastiales).

##### **Consecuencias para la explotación:**

- adaptación del Plan de Emergencia (acceso de los equipos de rescate y evacuación de los usuarios);
- monitorización (actualización del SCADA);
- cierre completo del túnel durante los trabajos.

### **A.5 SISTEMAS DE VENTILACIÓN**

Descripción de la situación de la seguridad: este caso se refiere a la típica necesidad de actualización de los sistemas de ventilación para alcanzar los objetivos de seguridad. Es el caso de un túnel que se construyó antes de la entrada en vigor de la normativa o en el que se han producido cambios significativos en el tráfico.

#### **A.5.1 Ejemplo de túnel unidireccional de dos tubos**

##### **Características del túnel:**

- túnel unidireccional de dos tubos;
- sistema existente de ventilación: longitudinal;
- incremento del tráfico y condiciones de incendio en las que se necesita una mayor corriente de aire o mayor velocidad de la misma;

- solución de añadir más ventiladores.

**Condicionantes constructivos:**

- los nuevos ventiladores deben instalarse durante cierres cortos del túnel;
- la fuente de suministro complementaria debe instalarse durante la noche con un carril cerrado;
- la modificación del SCADA debe probarse en periodos de bajo tráfico.

**Soluciones alternativas:**

- pueden instalarse ventiladores tipo Saccardo en las bocas o grupos de ventiladores en las bocas en la clave (soluciones costosas);
- pozos intermedios, especialmente para túneles urbanos;
- en función de la longitud puede requerirse extracción de humos a intervalos.

**Consecuencias para la explotación:**

- adaptación del Plan de Emergencia (acceso de los equipos de rescate).

En el caso de una situación compleja (por ejemplo atascos, rampas en el túnel, etc.) pueden necesitarse requisitos adicionales para la renovación como por ejemplo:

- control y gestión de la corriente longitudinal de aire;
- consideración particular durante la fase de los trabajos y el correspondiente perfeccionamiento de los planes de emergencia y las condiciones de funcionamiento.

**Características del túnel:**

- túnel unidireccional con dos tubos;
- la ventilación existente es longitudinal o semi-transversal;
- elevada congestión;
- condiciones particulares en la boca de entrada con fuerte corriente natural de aire en el túnel.

**Requisitos de renovación:**

- control y gestión longitudinal de la velocidad del aire.
- crear o mantener la extracción de humo (extracción de humo, extintores).

**Análisis de la obra civil:**

- investigación de todas las situaciones posibles;

- análisis muy detallado del procedimiento de construcción al objetivo de lograr que el plazo sea menor de un día;
- estrategia de inicio de las obras respecto a la posibilidad de cierre;
- en caso de puesta en servicio - evaluación de las condiciones de seguridad cuando se reabra temporalmente entre dos fases de construcción;
- estrecho reconocimiento y control de los trabajos de mejora a fin de respetar el programa.

**Soluciones para controlar la velocidad del aire:**

- implementar aceleradores en cada boquilla;
- instalar turbinas o inyectores;
- construir el hueco para instalar las turbinas;
- adaptar la fuente de energía y la red de transmisión de datos;
- modificar el SCADA;
- organizar trabajos de mejora;
- para crear el hueco se necesita cerrar el tubo;
- otros trabajos como los del ejemplo anterior.

También se puede dar el caso de que el sistema de ventilación no esté automatizado o que no se haya implementado el procedimiento. En estos casos, si se requiere una respuesta específica de la ventilación, tiene que iniciarla manualmente un operario o si el sistema de ventilación requiere una información detallada de los sensores requerirá una mejora. También, en algunos túneles existentes, puede ser necesario mejorar los ventiladores a fin de incrementar su resistencia al fuego.

**A.5.2 Control de la ventilación****Objetivo:**

- realizar o mejorar el control automático de la ventilación durante la explotación normal en caso de emergencia de incendio.

**Condicionantes constructivos:**

- pueden ser necesarios anemómetros;
- estudio del empuje real de los ventiladores y sus tiempos de reacción;
- las pruebas a escala real requerirán el cierre del túnel en periodos cortos de tiempo, preferiblemente por la noche o en momentos de poco tráfico;
- poca molestia para los usuarios;

- modificaciones en el SCADA.

**Consecuencias para la explotación:**

- adaptación del Plan de Emergencia;
- modificación del SCADA.

**A.5.3 Sensores de contaminación y anemómetros****Objetivo:**

- equipar al túnel con un alto número de detectores de polución y anemómetros;
- incrementar la información sobre la calidad del aire en el túnel y mejorar la estabilidad del sistema ante el fallo de un sensor.

**Condicionantes constructivos:**

- pueden instalarse nuevos dispositivos en cortos cierres de carril;
- puede realizarse por la noche o en periodos de poco tráfico;
- apenas afecta a los usuarios;
- requiere modificaciones en el SCADA;
- puede requerir cambios en los dispositivos de captación de señal.

**Consecuencias para la explotación:**

- mantenimiento;
- modificaciones del SCADA (nuevas señales).

**A.5.4 Resistencia térmica de los ventiladores****Objetivo:**

- equipar el túnel con ventiladores resistentes al calor;
- incluir protecciones en los cables si es necesario.

**Condicionantes constructivos:**

- los ventiladores pueden reemplazarse con cortos cierres del túnel;
- debe probarse el SCADA;
- bajo impacto para los usuarios;
- pocas consecuencias para el tráfico;
- refuerzo temporal de la señalización y de la patrulla de vigilancia;
- pruebas en periodos de poco tráfico.



**Consecuencias para la explotación:**

- mantenimiento;
- adaptación del Plan de Emergencia.

## **A.6 CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN Y SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETECCIÓN DE INCIDENTES**

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: puede darse el caso de que el Circuito Cerrado de TV (CCTV) y/o el Sistema de Detección Automática de Incidentes (DAI) no estén instalados en túneles antiguos de carretera. El objetivo será implementar dichos sistemas para cumplir con la normativa vigente y mejorar el tiempo de respuesta en caso de un incidente en el túnel. En los túneles que ya posean el sistema CCTV puede ser necesaria su actualización y/o reemplazo de las cámaras si se va a instalar un nuevo sistema DAI.

### **A.6.1 Ubicación adecuada de las cámaras**

**Objetivo:**

- evitar el deslumbramiento de las cámaras por la luz exterior, debiendo situar la última cámara orientada hacia el interior;
- hacer más sencilla la detección del sistema DAI mediante un correcto espaciado de las cámaras;
- evitar un gran número de imágenes en el Centro de Control mediante un espaciado correcto entre las cámaras;
- proporcionar una cobertura del 100%.

**Condiciones constructivas:**

- consecuencias en el tráfico debido al cierre de un carril o del túnel.
- es posible la implementación durante el periodo nocturno y con el cierre de un carril.

**Consecuencias para la explotación:**

- reconfiguración del servidor de vídeo;
- generación de nuevas máscaras y re-configuración del sistema DAI;
- reprogramación y reconfiguración del sistema SCADA;
- adaptación del Plan de Emergencia.

### **A.6.2 Sistema automático de detección de incidentes (DAI)**

**Objetivo:**

- detectar inmediatamente un incidente para realizar eficazmente la emergencia;
- automatizar el Plan de Emergencia.

**Condiciones constructivas:**

- si es necesario modificar el sistema de comunicación de las cámaras o añadir nuevos equipos para ello puede realizarse en el tiempo nocturno y con cierre de un carril;
- nuevo equipo en los cuartos técnicos en las bocas del túnel y en el Centro de Control.

**Consecuencias para la explotación:**

- reprogramación y reconfiguración del sistema SCADA;
- adaptación del Plan de Emergencia.

## A.7 SISTEMA DE CONTROL

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: en algunos túneles existentes puede ser necesaria la actualización del sistema de control porque no tenga redundancia a nivel de red, de equipo y/o SCADA.

### A.7.1 Sistema de control redundante

**Objetivo:**

- proteger el sistema de control frente a la rotura de la red de comunicación, contra el fallo de equipos (switches, PLC, servidores, etc.) o contra problemas informáticos.

**Condiciones constructivas:**

- si se requiere la instalación de nueva fibra óptica se hará a través de una bandeja de cables o de un conducto bajo la calzada, siendo posible su ejecución durante la noche cerrando un carril;
- si se requiere la instalación de un nuevo equipo se ubicará en los cuartos técnicos y/o en el Centro de Control de modo que el tráfico no se vea significativamente afectado;
- si se requiere la mejora del ordenador del sistema de control se hará solo en el Centro de Control si ello no diese lugar a repercusiones en el tráfico.

**Consecuencias para la explotación:**

- adaptación del Plan de Emergencia.
- reprogramación y reconfiguración del sistema SCADA.

## A.8 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: puede ocurrir que el sistema de comunicación por radio y/o el sistema de megafonía no estén implantados en los túneles de carretera antiguos. El objetivo es instalar dichos sistemas para cumplir con la normativa vigente y con los objetivos.

### A.8.1 Radiocomunicación

**Objetivo:**

- proporcionar un sistema de comunicación en el interior del túnel a los servicios de emergencia en caso de incidente;
- ayudar a los usuarios del túnel a mantener unas condiciones normales de circulación proporcionando la transmisión de FM por radio.

**Condicionantes constructivos:**

- la instalación del cable radiante se realizará en la clave, requiriendo el cierre completo del túnel;
- las antenas y el equipo de amplificación deben instalarse en las proximidades de las bocas del túnel;
- las pruebas pueden realizarse en condiciones normales de tráfico.

**Consecuencias para la explotación:**

- el personal de explotación y los servicios de emergencia deben estar provistos de terminales para poder comunicarse en el interior del túnel;
- adaptación del Plan de Emergencia.

### A.8.2 Sistema de megafonía

**Objetivo:**

- ofrecer un sistema directo de información a los usuarios en una situación de emergencia y permitir una evacuación asistida.

**Condicionantes constructivos:**

- los altavoces suelen instalarse en los hastiales del túnel, debiendo hacerse con cierre de carril;
- pocas desventajas para los usuarios;
- pocas consecuencias para el tráfico.

**Consecuencias para la explotación:**

- adaptación del Plan de Emergencia;
- programación y reconfiguración del sistema SCADA.

## **A.9 SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO**

Descripción de la situación desde el punto de vista de la seguridad: como consecuencia de la incorporación en un túnel existente de un nuevo equipamiento con un mayor consumo de energía (sistemas de ventilación, bombas de agua para sistemas de protección de incendios, sistemas de iluminación, etc.), se requiere una ampliación del sistema de suministro eléctrico. En algunos casos es necesario incorporar al túnel mejoras para asegurar la funcionalidad de los equipos de emergencia.

### **A.9.1 Ampliación del sistema de suministro eléctrico debido al aumento de la potencia demandada**

**Objetivo:**

- proporcionar el suficiente suministro eléctrico al nuevo equipamiento instalado.

**Condicionantes constructivos:**

- debe realizarse una estimación del consumo de energía del nuevo equipamiento;
- se debe consultar a la compañía eléctrica para asegurarse de que la red eléctrica actual está preparada para soportar la ampliación de potencia o si la red necesita ampliarse;
- debe hacerse una evaluación de qué equipos eléctricos deben actualizarse o reemplazarse (transformadores, cuadros eléctricos, cables, etc.);
- deben ampliarse los cuartos técnicos en los que se ubique el equipo de suministro eléctrico para poder albergar el nuevo equipo eléctrico;
- algunos de estos trabajos pueden realizarse de noche, con bajo impacto sobre el tráfico (por ejemplo, el cambio de un transformador). Sin embargo otros tendrán un impacto mayor (por ejemplo, la ampliación de un cuarto técnico).

**Consecuencias para la explotación:**

- procedimientos adicionales de mantenimiento;
- impacto en el SCADA (deben controlarse más señales).

### **A.9.2 Instalación de una fuente secundaria de suministro eléctrico**

**Objetivo:**

- proveer al túnel de una fuente secundaria de energía para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad en caso de fallo eléctrico.

**Condiciones constructivas:**

- estimación de la potencia requerida y consulta con la compañía eléctrica;
- determinar el equipamiento que hay que incorporar en el túnel (transformadores, paneles eléctricos, sistemas de conmutación de conexiones, etc.);
- posibles ampliaciones de los cuartos técnicos para albergar el equipo nuevo;
- alguno de estos trabajos podrá realizarse por la noche con un impacto limitado sobre los usuarios (por ejemplo, la sustitución de un transformador). Otros, sin embargo, tendrían un impacto mucho mayor (por ejemplo, la ampliación de un cuarto técnico que dará lugar al corte de corriente durante varios días).

**Consecuencias para la explotación:**

- procedimientos adicionales de mantenimiento;
- impacto en el SCADA (deben controlarse más señales).

**A.9.3 Instalación de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)****Objetivo:**

- proporcionar al túnel una alimentación eléctrica segura, con el fin de asegurar el continuo funcionamiento de los equipamientos de emergencia (sistema de control, circuito cerrado de TV, etc.)

**Condiciones constructivas:**

- estimación de la energía necesaria para elegir el sistema SAI apropiado;
- modificación en los armarios eléctricos de baja tensión (aguas arriba y abajo del SAI);
- los trabajos pueden realizarse por la noche.

**Consecuencias para la explotación:**

- procedimientos adicionales de mantenimiento;
- impacto en el SCADA (deben controlarse más señales).

**A10 SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

Descripción del problema de seguridad: nuevas normativas que conciernen a los sistemas de iluminación que requieren actualizaciones en los túneles existentes.

### **A.10.1 Mejora del sistema de iluminación**

#### **Objetivo:**

- mejorar el confort visual de los conductores;
- cumplir las normativas de iluminación en aquellos túneles donde el sistema de iluminación es pobre o insuficiente.

#### **Condicionantes constructivos:**

- puede ser necesaria la instalación de nuevas bandejas de cables y ampliar el cuadro eléctrico principal;
- la sustitución de lámparas es posible durante la noche con un carril cerrado;
- consecuencias sobre el tráfico;
- inconvenientes para los usuarios.

#### **Consecuencias para la explotación:**

- procedimientos adicionales de mantenimiento;
- impacto en el SCADA (más señales de entrada y salida).