

## **CAPÍTULO 1: PREÁMBULO**

### **1.1. Objeto y consideraciones generales**

Esta Instrucción tiene por objeto establecer criterios y especificaciones técnicas a aplicar en los estudios previos o informativos, proyecto, construcción y explotación de túneles ferroviarios, con el exclusivo fin de proporcionar al usuario un nivel de seguridad comparable al del resto del trazado, reduciendo el riesgo de accidentes o sus consecuencias sobre las personas y los elementos ferroviarios.

En consecuencia, no es objeto de esta Instrucción la seguridad de los trabajadores en las fases de construcción, mantenimiento o conservación del túnel en fase de explotación. Tampoco lo es la seguridad de la propia obra, ni las afecciones a terceros en la fase de construcción.

Los criterios y especificaciones para la obra civil se recogen en el capítulo 3; los del equipamiento (instalaciones ferroviarias y generales), en los capítulos 4 y 5; y los de elaboración del Manual de Explotación, en el capítulo 6.

La Instrucción contiene, tanto criterios de diseño -generalmente de tipo recomendación-, como especificaciones técnicas obligatorias. En general, los criterios orientan a los autores de estudios informativos o de proyectos hacia como evitar problemas, les indican aspectos para reflexionar o considerar, aportan hipótesis de trabajo en caso de falta de información detallada, etc. Por el contrario, las especificaciones obligatorias aportan un nivel de seguridad adecuado para la mayoría de los túneles.

Además, los autores de estudios previos, estudios informativos, proyectos o planes de autoprotección corporativa (incluidos en los manuales de explotación), deben elaborar estudios específicos de riesgos -cuya metodología se describe en el capítulo 2 de esta Instrucción-, incluyendo, en su caso, las medidas adicionales necesarias para neutralizar o minorar posibles riesgos no cubiertos por esta Instrucción.

Además, el Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa de las Obras, en uso de sus atribuciones, pueden, bajo su responsabilidad y previo estudio técnico justificativo de que no se reduce el nivel de seguridad de la Instrucción, adoptar otras alternativas diferentes a las aquí descritas.

### **1.2. Ámbito de aplicación**

Esta Instrucción es de aplicación a los túneles ferroviarios de nueva construcción de longitud superior a 300 m y a sus dependencias anejas, que estén integrados en la red ferroviaria de interés general, independientemente de su tipología constructiva, ancho de vía, características del tráfico o condiciones de explotación.

A los efectos anteriores, también se consideran como de nueva construcción, los túneles en los que se realicen obras de ampliación del área de su sección transversal en más de un 30%, a lo largo de toda su longitud.

A los efectos de esta Instrucción, se considera como longitud del túnel, la distancia entre sus bocas a cielo abierto, por lo que las estaciones subterráneas forman parte de esta longitud.

Los túneles de longitud superior a 10.000 m, o con intensidad de tráfico superior a las 200 circulaciones/día, pueden requerir medidas adicionales a las aquí recogidas.

### **1.3. Principios generales de seguridad**

1. El proyecto, la construcción y la explotación de cualquier túnel serán llevados a cabo por equipos de técnicos y operarios con formación y experiencia acreditadas y suficientes en seguridad de túneles. Además, el Autor del Proyecto, el Director Facultativo de las Obras y el Director de Explotación, serán titulados facultativos competentes de acuerdo con la legislación vigente.
2. Los autores de estudios previos, estudios informativos, proyectos o manuales de explotación y, en particular, de sus planes de autoprotección corporativa, aplicarán las medidas necesarias para la protección del usuario, con arreglo a los siguientes principios:
  - a) Identificar los posibles riesgos que puedan afectar al túnel durante su explotación.
  - b) Eliminar o minimizar, en lo posible, los riesgos asociados a la infraestructura o a causas naturales externas, mediante una concepción reflexiva y adecuada del proyecto (trazado, cálculos, etc.).
  - c) Minimizar los riesgos asociados al tráfico ferroviario o de origen antrópico, aplicando medidas preventivas que eviten o reduzcan su probabilidad de aparición.
  - d) Limitar las consecuencias adversas de cualquier incidente o accidente, estableciendo medidas de protección, evacuación y asistencia adecuadas. En particular:
    - Evitando la parada de trenes en el interior del túnel y el acceso de otros nuevos, especialmente en caso de incendio.
    - Detectando y comunicando inmediatamente cualquier incidente al Centro de Control de Tráfico.
    - Informando a los pasajeros sobre cómo actuar en caso de incidente.

- Facilitando en caso de avería o accidente del tren, su remolque, o la evacuación rápida y segura de todos los afectados hasta un lugar seguro, incluso en situación de incendio.
  - Facilitando la actuación de los equipos de intervención (bomberos, sanitarios, etc.), mediante la disposición de accesos rápidos y seguros al lugar del accidente, así como de las comunicaciones necesarias.
  - Diseñando un plan que facilite la asistencia y la coordinación de actuaciones entre los distintos agentes implicados (sanitarios, de orden, etc.), así como el traslado rápido y seguro de los afectados a los hospitales.
3. La obra civil y las instalaciones (ferroviarias y generales) se conservarán adecuadamente para garantizar su adecuado funcionamiento en cualquier situación.
  4. La Instrucción establece unas especificaciones obligatorias que aportan un adecuado nivel de seguridad para la mayoría de los túneles. En los casos no cubiertos por ella o cuando el proyectista proponga alternativas diferentes, las medidas de seguridad a aplicar deberán garantizar, al menos, el mismo nivel.

#### 1.4. Clasificación de túneles

Para determinar los criterios y especificaciones técnicas de seguridad a exigir a cada túnel, se considerarán los siguientes parámetros:

<b>INTENSIDAD DE TRÁFICO PREVISTA (I)</b>	
<b>Muy alta</b>	> 200 circulaciones/día. En su mayoría tráfico de viajeros y eventualmente de mercancías.
<b>Media-alta</b>	Entre 50 y 200 circulaciones/día.
<b>Baja</b>	< 50 circulaciones/día.

<b>LONGITUD DEL TÚNEL (L)</b>	
<b>Cortos</b>	300 m < L ≤ 1.500 m
<b>Medios</b>	1.500 m < L ≤ 6.000 m
<b>Largos</b>	6.000 m < L ≤ 10.000 m
<b>Singulares</b>	L > 10.000 m

<b>SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</b>	
<b>Nivel I</b>	Túneles que por sus especiales condiciones requieren una organización específica y permanente para el control y vigilancia de sus instalaciones.  Estos túneles dispondrán de una sala de control donde se recogerá y explotará toda la información procedente de las diversas instalaciones.
<b>Nivel II</b>	Túneles que requieren ciertas instalaciones y una vigilancia particular con respecto al resto del trazado
<b>Nivel III</b>	Túneles cortos o de poco tráfico, que no requieren ningún tipo de instalación específica.

En realidad, el sistema de explotación es consecuencia de las características físicas del túnel y de su tráfico, y por tanto del nivel de riesgo durante su explotación. Con el fin de utilizarlo como parámetro fundamental para definir las exigencias en cada túnel, se establece la correspondencia siguiente con los dos parámetros anteriores:

<b>NIVEL DE EXPLOTACIÓN SEGÚN TIPO DE TÚNEL</b>				
<b>Longitud del túnel</b>		<b>Intensidad de tráfico prevista</b>		
		<b>Muy alta</b> (I > 200)	<b>Media-alta</b> (200 ≥ I ≥ 50)	<b>Baja</b> (I < 50)
<b>Cortos</b>	L ≤ 1.500 m	II*	II	III
<b>Medios</b>	1.500 m < L ≤ 6.000 m	I*	II**	II
<b>Largos</b>	6.000 m < L ≤ 10.000 m	I*	I	I
<b>Singulares</b>	L > 10.000 m	I*	I*	I*

\* Pueden requerir medidas adicionales a las de esta Instrucción.  
\*\* En líneas con trenes de alta ocupación (≥1.000 viajeros/tren) se considerarán de tipo I.

La clase y tipo de las mercancías transportadas y la velocidad no se han considerado como un elemento de clasificación, debido a su dificultad de estimación en el proyecto, y a no poderse asegurar que las hipótesis adoptadas se mantendrán a lo largo de la vida del túnel.

### 1.5. Actores implicados en la seguridad. Funciones

Los actores responsables de mantener un adecuado nivel de seguridad en los túneles, así como sus funciones básicas relacionadas con esta Instrucción, son:

1. Titular del túnel. Es el promotor de la obra. En caso de que la construcción o la explotación del túnel sea cedida a otro organismo o entidad, el cesionario asumirá las obligaciones del titular.

Realizará las funciones siguientes:

- Designar al Autor del proyecto, al Director facultativo de las obras, al Director de Explotación y al Director de Protección Civil corporativo. En el caso de que se contraten externamente, comprobará que poseen la cualificación y experiencia necesarias.
- Velar por el cumplimiento de esta Instrucción en todas las fases desde el proyecto hasta la explotación del túnel.
- Promover, de acuerdo con esta Instrucción, la realización de los controles e inspecciones periódicas para verificar el estado de conservación de la obra civil e instalaciones, asegurando la independencia de los equipos encargados de realizarla.
- Velar por el cumplimiento del plan de mantenimiento y la conservación del túnel, con los criterios fijados en la Instrucción.
- Elaborar, aprobar, implantar, actualizar y verificar el cumplimiento del Manual de Explotación, así como el archivo y control de la documentación generada.
- Elaborar y mantener actualizado un Dossier Técnico del túnel con, al menos, los siguientes documentos:
  - Proyectos constructivos del túnel (infraestructura, vía e instalaciones de todo tipo), con los estudios geológicos, geotécnicos, de riesgos, etc. utilizados para su elaboración. Asimismo deberán recoger los datos de lo realmente construido (“as built”).
  - Información geológica y geotécnica adicional obtenida durante la construcción.
  - Modificaciones introducidas en el proyecto durante la construcción.
  - Resultados de ensayos y análisis realizados para comprobar la calidad de las obras.
  - Tratamientos de estabilización o impermeabilización del terreno realizados, en su caso.
  - Actas de las pruebas previas a la puesta en servicio.
  - Plan de auscultación llevado a cabo en cada fase, con los resultados obtenidos y su interpretación.
  - Actas de las inspecciones con las anomalías detectadas.

- Descripción de los trabajos de conservación realizados en elementos relacionados con la seguridad.
- Actas de los ejercicios de activación parcial y simulacros realizados en aplicación del Plan de Autoprotección Corporativa.

2. Autor del Proyecto. Es el responsable del proyecto. Sus funciones son las siguientes:

- Realizar los estudios (geológico-geotécnicos, de riesgo, etc.) y los cálculos necesarios para garantizar la resistencia mecánica y estabilidad del túnel, así como para definir adecuadamente los aspectos relacionados con la seguridad del proyecto.
- Redactar un proyecto acorde con los criterios de seguridad recogidos en esta Instrucción.

Cuando se redacten proyectos independientes, por ejemplo, para la obra civil, la superestructura, las instalaciones generales, la electrificación o las instalaciones de seguridad, cada autor será responsable de su proyecto, pero deberá tener presente las necesidades (principalmente de espacios) e interferencias, derivadas de los restantes proyectos que se redacten con posterioridad.

3. Director facultativo de las obras. Es el responsable de la correcta ejecución de las obras e instalaciones. Sus funciones son las siguientes:

- Controlar la calidad de la ejecución de las obras e instalaciones y su correcto funcionamiento.
- Controlar la instalación, adecuado funcionamiento y toma de medidas periódicas del sistema de auscultación previsto en el proyecto.

4. Director de Explotación. Es el responsable máximo de la explotación del túnel. Dispondrá de capacidad ejecutiva y de organización. Sus funciones son las siguientes:

- Responsabilizarse del correcto funcionamiento y uso (explotación) del túnel desde su puesta en servicio.
- Planificar la circulación de trenes, aplicando la normativa de seguridad en los túneles y adoptando las medidas preventivas de restricción de tráfico que pudieran derivarse.
- Dirigir el Centro de Control de Tráfico, responsabilizándose de la seguridad de las circulaciones en el túnel. En particular, deberá:
  - Gestionar la circulación de trenes, adoptando medidas de regulación, restricción o prohibición del tráfico, en casos de aumento significativo del riesgo.

- Controlar la explotación, verificando que se cumple lo previsto y aplicando, en su caso, las medidas correctoras adecuadas.
- Dirigir el Centro de Control Técnico, gestionando el funcionamiento de las instalaciones y sus alarmas.
- Realizar los avisos y desencadenar las actuaciones de primera intervención previstas en caso de emergencia, hasta que el Director de Protección Civil corporativo pueda asumir la gestión de ésta.
- Dirigir la redacción del Manual de Explotación y presentarlo a la aprobación del Titular de la infraestructura. Deberá recabar el Plan de Autoprotección Corporativa, del Director de Protección Civil corporativo, que será el responsable de su redacción.
- Responsabilizarse del cumplimiento de lo previsto en el Manual de Explotación:
  - Aplicar las reglas de explotación del túnel, con los requisitos y limitaciones a cumplir por el tráfico ferroviario.
  - Recabar información sobre el funcionamiento y operatividad de las medidas y sistemas de seguridad.
  - Programar los intervalos de mantenimiento y supervisar las medidas de seguridad a aplicar durante éstos.
  - Exigir el cumplimiento del plan de mantenimiento a su responsable, con el fin de asegurar el buen funcionamiento y operatividad de las instalaciones.

5. Director de Protección Civil corporativo. Es el responsable (director) del Plan de Autoprotección Corporativa. Dependerá orgánicamente de la máxima autoridad del Titular de la Infraestructura, disponiendo de capacidad ejecutiva y de organización. Sus funciones son las siguientes:

- Elaborar el Plan de Autoprotección Corporativa y entregarlo al Director de Explotación, para su aprobación por el Titular de la Infraestructura junto al resto del Manual de Explotación.
- Dirigir la implantación material del Plan:
  - Programar actividades de difusión y formación, a nivel interno y externo.
  - Organizar directamente o en colaboración con los servicios de intervención externos, ejercicios y simulacros de emergencia.

- Analizar los incidentes, implantando las mejoras necesarias para evitar su repetición.
  - Realizar auditorias de inspección y verificación del plan de mantenimiento.
  - Dirigir y gestionar las emergencias:
    - Desencadenar las medidas programadas de intervención en caso de accidente o suceso grave.
    - Informar a los servicios de intervención públicos y atender sus requerimientos técnicos, logísticos y operativos.
  - Impulsar la calidad y mejora continua en la gestión de la seguridad:
    - Verificar el cumplimiento de la normativa sobre seguridad en túneles ferroviarios, antes de la puesta en servicio y durante su vida útil.
    - Realizar diagnósticos de situación, proponiendo mejoras técnicas, tanto en la obra civil, sistemas y equipos instalados, como en las medidas de autoprotección a aplicar, que eleven el nivel de seguridad física de las personas y bienes.
    - Proponer e implantar innovaciones organizativas, técnicas o constructivas que proporcionen ventajas significativas con respecto a las existentes.
6. Cuerpo de Inspección de Seguridad, que podrá ser creado por las Administraciones competentes al objeto de verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad de los túneles.

## **2. ESTUDIO DE RIESGOS**

### **Objeto**

Identificar en cada etapa de concepción o uso del túnel, las posibles situaciones de riesgo que pudieran sobrevenir durante su explotación, evaluando la gravedad de sus consecuencias y adoptando las medidas preventivas y de protección necesarias para evitarlas o minimizarlas.

### **Ámbito de aplicación**

Todos los estudios informativos, anteproyectos y proyectos (básicos y constructivos) que incluyan túneles, y los manuales de explotación de éstos, incorporarán estudios específicos de riesgos.

### **Metodología**

Los estudios de riesgos se elaborarán con un nivel de detalle creciente, desde el estudio informativo hasta la fase de explotación. En los estudios informativos y previos se tratará, en principio, de evitar riesgos, buscando trazados que, cumpliendo el resto de los condicionantes exigidos (medioambientales, tiempo de recorrido, etc.), presenten ventajas desde el punto de vista de la seguridad. Durante el proyecto y la explotación, por el contrario, se deberán definir y aplicar medidas para minimizar los riesgos no eliminados.

Para ello se seguirá una metodología adecuada, cuyos aspectos más relevantes se indican en los apartados siguientes.

A nivel informativo, en el Anejo B se incluye un análisis de riesgos habituales en túneles, así como de posibles medidas para contrarrestarlos.

#### **2.1. Identificación de las situaciones de riesgo**

En cada etapa, desde la concepción hasta la explotación del túnel, se identificarán los riesgos residuales, es decir, los no eliminados en la etapa anterior, susceptibles de originar una situación de emergencia, y cuyo origen puede estar en:

- la infraestructura (características del diseño o constructivas, deterioros o averías de la obra civil, instalaciones o equipos).
- el entorno del túnel (causas naturales o antrópicas).
- el tráfico en el interior del túnel, que será función de las condiciones de explotación fijadas por el titular.
- una combinación de los anteriores.

### **2.1.1. Riesgos de tratamiento preferente en el proyecto del túnel**

Muchos de los riesgos que afectan a la explotación pueden eliminarse o minimizarse en las etapas de proyecto y previas a éste, aplicando las medidas necesarias. Así, los riesgos derivados de la ubicación del túnel y de su entorno pueden evitarse mediante una adecuada elección del trazado.

Entre estos riesgos destacan:

- Obstaculización de la vía en desmontes de acceso al túnel, causada por deslizamientos o avalanchas (tierra, rocas, nieve, etc.); inestabilidad de taludes; erosión y arrastre de material, etc., debidos a su vez a seísmos, acción del agua, etc.
- Afecciones al tráfico causadas por:
  - Vientos fuertes o incendios en las proximidades de las bocas.
  - Edificaciones situadas en la zona de influencia de la excavación del túnel.
  - Existencia de canteras, explotaciones industriales, refinerías, depósitos de combustible, etc., próximos a la traza.
- Inundación del túnel por agua procedente de lluvias, filtraciones, cauces fluviales, rotura de canalizaciones próximas, etc.
- Roturas o deformaciones en los elementos estructurales del túnel, con posible obstaculización de la vía, debidas a:
  - Empujes o movimientos del terreno, causados por: hundimientos, karst, expansividad, ascenso del nivel freático, seísmos, riadas, etc.
  - Degradación progresiva de éstos por efecto del agua u otros agentes químicos.
- Averías o daños materiales en la infraestructura de la vía, consecuencia de deformaciones de la plataforma, caída de obstáculos procedentes de la estructura o de equipos instalados sobre ella, etc.

### **2.1.2. Riesgos relacionados con la explotación**

Suelen ser consecuencia de una pérdida de funcionalidad del túnel, combinada o no con incidentes o accidentes de tráfico, que produzcan daños en la obra civil, el equipamiento, los trenes o las personas.

Se deberán analizar básicamente en la etapa de proyecto y al redactar el plan de autoprotección incluido en el manual de explotación. Entre ellos se encuentran:

- Interrupción del suministro eléctrico al sistema de tracción o a las instalaciones de seguridad.
- Avería en el funcionamiento de una instalación de seguridad o del propio Centro de Control.
- Detención o parada no programada de un tren en el interior del túnel, causada por problemas de tráfico, fallo en el sistema eléctrico de tracción, frenada de emergencia, atropello, obstáculo en la vía, avería del tren, cortes de vía, sabotajes, atentados, etc.
- Accidente de un tren causado por colisión contra un obstáculo o por descarrilamiento, sin incendio, en el interior del túnel.
- Incendio en el túnel o en un tren en marcha, con o sin detención de éste.
- Fuga de mercancías tóxicas o inflamables procedentes de un tren en marcha, con o sin detención de éste.
- Explosión de un tren con mercancías peligrosas, en el interior del túnel.

## **2.2. Análisis y evaluación de las situaciones de riesgo**

El nivel de riesgo en un túnel depende de factores tales como: su longitud, el entorno físico, las características del tráfico, las condiciones de la explotación, la existencia de túneles contiguos separados por viaductos o a una distancia inferior a la longitud de un tren largo, la dificultad de acceso a las bocas, etc.

El análisis de riesgos estudia sus causas, efectos, riesgos colaterales, etc.

La evaluación de riesgos permite estimar su gravedad, clasificándolos posteriormente en función de ella a fin de priorizar las medidas correctoras a aplicar. Para ello se evalúan factores tales como: el grado de probabilidad de ocurrencia, la gravedad de sus consecuencias (personas, vehículos ferroviarios y mercancías implicadas; incidencia en el tráfico, daños materiales y humanos producidos), accesibilidad al lugar del siniestro, ubicación y condiciones de evacuación, medios de intervención requeridos, factores climatológicos adversos, etc.

Para la evaluación del riesgo se podrán utilizar métodos:

- Deterministas o cualitativos: consistentes en analizar las consecuencias que pudieran derivarse de la actualización de los riesgos. Es el método a emplear habitualmente en túneles ferroviarios.

- Probabilistas o cuantitativos: consistentes en determinar la probabilidad de actualización de los riesgos. A menudo requiere datos de los que no se dispone.

### **2.3. Identificación, evaluación y propuesta de medidas correctoras**

Una vez clasificados los riesgos en función de su gravedad, se realizará lo siguiente:

- Identificación, para cada riesgo, de posibles medidas a adoptar, con objeto de:
  - eliminar o reducir su probabilidad de actualización (preventivas).
  - controlar y reducir sus consecuencias adversas (paliativas).
  - facilitar la evacuación de las personas.
  - facilitar la actuación de los equipos de intervención (extinción, sanitarios, rescate, etc.).
- Evaluación de las medidas en función de su eficacia y coste.
- Propuesta razonada y priorizada de las medidas a adoptar en cada etapa, distinguiendo entre imprescindibles y convenientes. Entre las primeras se incluirán las indicadas como obligatorias en esta Instrucción, así como las más ventajosas por su relación coste - beneficio.

El proyecto deberá recoger las condiciones de explotación, los requisitos y limitaciones a imponer al tráfico ferroviario y las medidas de autoprotección asumidas y aprobadas por el Titular del túnel. Todo ello servirá de base para la elaboración del Manual de Explotación.

### **3. OBRA CIVIL**

#### **3.1. Criterios de proyecto**

El proyectista, en función de su estudio de riesgos, fijará los criterios de proyecto de la obra civil que permitan alcanzar el nivel de seguridad de los usuarios requerido durante la explotación. Con este exclusivo fin, cumplirá aquellas especificaciones fijadas como obligatorias en este capítulo.

##### **3.1.1. Trazado**

Los criterios y requisitos incluidos en este apartado son independientes de otros condicionantes derivados de: funcionalidad del trazado, geología del terreno, sismicidad, exigencias medioambientales, etc.

##### **3.1.1.1. Perfil longitudinal**

En caso de riesgo de inundación en un túnel (proximidades de ríos y cauces), se recomienda elevar su rasante. En su defecto, se proyectarán las medidas de seguridad necesarias (obras de defensa, etc.) para eliminar o reducir dicho riesgo.

Se recomienda evitar los acuerdos cóncavos con puntos bajos de acumulación de agua en el interior del túnel. En su defecto, se proyectarán equipos de bombeo para evacuación de aguas (infiltración, escorrentía, etc.) y eventuales vertidos de trenes.

En los puntos bajos o altos se pueden acumular gases más o menos pesados que el aire. Para evitarlo, se recomienda actuar sobre el perfil longitudinal o, en su defecto, proyectar un sistema de ventilación adecuado.

La pendiente mínima, excepto en estaciones y transiciones de pendiente, será del 0,5%, con objeto de facilitar la salida por gravedad de aguas, vertidos líquidos e incluso trenes. En casos excepcionales, debidamente justificados, podrá reducirse hasta el 0,4%.

La pendiente máxima en túneles será:

- Para tráfico mixto: 1,2%; excepcionalmente 1,8%.
- Para tráfico exclusivo de viajeros: 2,5%; excepcionalmente 3%.

##### **3.1.1.2. Ubicación de las bocas y salidas de emergencia**

Se recomienda situarlas en zonas de mínimo riesgo natural (inundaciones, aludes, etc.) o antrópico (industrias o almacenes con materias peligrosas, etc.), lo que condicionará el trazado en planta. En caso contrario, se proyectarán las medidas de seguridad necesarias (obras de defensa o de contención, refuerzos del revestimiento, etc.) para eliminar o reducir dicho riesgo.

Además, en túneles de tipo I, el emplazamiento de las bocas permitirá disponer de plataformas y accesos viarios, con las características indicadas en el apartado 3.1.4.1.

##### **3.1.1.3. Ubicación de estaciones**

En general, las estaciones o áreas para estacionamiento o parada de trenes situadas en las proximidades o en el interior del túnel, facilitan la resolución de cualquier incidente en su interior, especialmente si cumplen los criterios de seguridad indicados en el apartado 3.1.4.3.

Cuando se proyecten estaciones subterráneas, y a igualdad de otros condicionantes, se recomienda adaptar el trazado de forma que dichas estaciones se sitúen lo más próximas posible a la superficie, a fin de facilitar la evacuación a través de ellas. Sus accesos se situarán en zonas de mínimo riesgo natural o antrópico.

En el exterior de los túneles de longitud mayor de 10.000 m, se dispondrán áreas para el estacionamiento de trenes detenidos por motivos de seguridad (incendiados, con ejes calientes, mercancías pendientes de autorización de paso, etc.).

#### **3.1.1.4. Ubicación de chimeneas y pozos de ventilación**

Su necesidad, ubicación y características se justificarán en el estudio de ventilación descrito en el apartado 5.1.12. En su caso, el estudio de trazado deberá contemplar su ubicación en zonas idóneas desde el punto de vista funcional (p.ej. ausencia de perturbaciones por vientos dominantes o por efecto chimenea), medioambiental, de su construcción (accesibilidad, condiciones geotécnicas, etc.) y de su conservación y explotación (ausencia de riesgos naturales o antrópicos).

#### **3.1.2. Sección transversal.**

Los criterios y requisitos incluidos en este apartado son independientes de otros condicionantes impuestos por el gálibo ferroviario o las variaciones de presión del aire por efecto pistón, especialmente a altas velocidades.

Adicionalmente, se evitará proyectar o instalar elementos salientes pesados y de gran rigidez, que puedan intersectar con la trayectoria de un vehículo descarrilado, causándole daños graves.

##### **3.1.2.1. Elección del número de tubos**

Los túneles de tipo I para doble vía, de longitud mayor de 6.000 m y sin estaciones subterráneas intermedias, se recomienda proyectarlos con sección bitubo de vía única, al objeto de facilitar la evacuación y la actuación de los equipos de intervención, además de eliminar el riesgo de choque por descarrilamiento o cargas desplazadas y facilitar la ventilación. Otra alternativa es disponer una galería de evacuación paralela al tubo principal.

En estos casos, los tubos deberán estar interconectados entre ellos o con la galería y cumplir los requisitos de los apartados 3.1.3, 3.1.4 y 3.1.4.2 (zona segura).

##### **3.1.2.2. Transitabilidad para vehículos carreteros**

La sección transversal dispondrá de espacio suficiente para alojar las rutas de evacuación definidas en el apartado 3.1.3 y, en su caso, las calzadas de circulación de los vehículos de carretera cuyo acceso ocasional al interior del túnel se haya previsto.

En los túneles de tipo I, el proyectista analizará la conveniencia de utilizar vehículos de carretera para el rescate en situación de emergencia. En este caso, la plataforma ferroviaria será apta para la rodadura, admitiéndose resaltes o la disposición de elementos (balizas de señalización, etc.), siempre que no dificulten notablemente la circulación; además, la plataforma tendrá delimitadas las calzadas viales de forma clara y duradera.

##### **3.1.2.3. Red de drenaje y evacuación de vertidos líquidos**

Los túneles y sus dependencias anejas dispondrán de un sistema de drenaje (aguas de infiltración, escorrentía, limpieza, extinción de incendios, etc.) y de evacuación de vertidos, que evite su acumulación en puntos bajos, transiciones de peralte, etc. y los canalice longitudinalmente hacia el exterior. Esto deberá contemplarse en el proyecto de su sección transversal.

En las bocas de los túneles cuya rasante favorezca la entrada de agua de escorrentía hacia su interior, se proyectarán dispositivos de captación de agua y/o elementos sólidos en suspensión (arena, residuos, etc.).

El proyectista, en función de su estudio de riesgos, fijará el sistema de evacuación más adecuado, separativo o unitario, que permita canalizar de forma separada o conjunta, las aguas de infiltración y el resto de las aportaciones.

A) **Sistemas separativos:**

La **red de drenaje de las aguas de infiltración** deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Los caudales de cálculo de los colectores y canalizaciones serán los definidos en el estudio hidrogeológico del proyecto.
- Velocidad mínima del flujo para el 70% del caudal máximo: 0,5 m/s.
- Diámetro mínimo de 30 cm para los colectores principales de sección cerrada y de 25 cm para los caces.
- Se dispondrán arquetas para limpieza de los colectores principales, con separación máxima de 50 m.
- En los puntos bajos se dispondrán pozos de bombeo que cumplirán las especificaciones del apartado 3.1.7.

Análogamente, la **red de recogida de aguas de escorrentía y vertidos** cumplirá los requisitos siguientes:

- Los caudales de cálculo de los colectores se obtendrán a partir de hipótesis razonables en cuanto a concurrencia de agua de escorrentía, de limpieza, de extinción de incendios, vertidos de mercancías, etc. Como mínimo, el colector principal deberá poder evacuar 100 l/s.
- Las exigencias en cuanto a velocidad mínima, diámetro mínimo de colectores y caces, y arquetas, serán análogas a las indicadas para la red de drenaje de las aguas de infiltración.
- Se proyectarán sumideros separados un máximo de 50 m, conectados, directamente o a intervalos, con el colector principal.  
  
Los sumideros o sus conexiones con el colector principal, serán de tipo sifónico, a fin de impedir la transmisión del fuego hacia éste.
- Se dispondrá un depósito estanco, con las características del apartado 3.1.7, donde almacenar los líquidos potencialmente contaminantes captados, hasta su posterior retirada por personal especializado.

B) **Sistemas unitarios.** Deberán cumplir los requisitos siguientes:

- Los colectores se calcularán para la suma de los caudales de agua de infiltración, escorrentía, limpieza, extinción de incendios, vertidos, etc., definidos para los sistemas separativos. Como mínimo, el colector principal deberá poder evacuar 100 l/s.
- Las exigencias en cuanto a velocidad mínima, diámetro mínimo de colectores y caces, arquetas y sumideros, serán análogas a las indicadas para la red de recogida de aguas de escorrentía y vertidos de los sistemas separativos.
- En los puntos bajos se dispondrán pozos de bombeo que cumplirán las especificaciones del apartado 3.1.7.

En túneles de tipo I el proyectista analizará la conveniencia de proyectar vía en placa, para facilitar el drenaje y la evacuación de vertidos.

#### **3.1.2.4. Canalizaciones**

La sección transversal dispondrá, a ambos lados de la plataforma, de espacio suficiente para disponer las canalizaciones de cables de las distintas instalaciones. Dichas canalizaciones serán cerradas, se situarán preferentemente bajo las aceras, y estarán constituidas por tubos embebidos en un recubrimiento hormigón, a fin de proteger los cables de las agresiones externas (fuego, gases calientes, descarrilamientos, actos vandálicos, etc.).

Las canalizaciones dispondrán de arquetas de registro separadas un máximo de 50 m.

A lo largo del túnel y, en particular, coincidiendo con los puntos de ubicación de los locales técnicos, así como en las bocas, se dispondrán canalizaciones transversales para el cruce de cables bajo las vías, separadas un máximo de 500 m. En los extremos del cruce se dispondrán arquetas, cuyas dimensiones dependerán del gálibo disponible.

#### **3.1.2.5. Instalaciones**

La sección transversal dispondrá de espacio suficiente para alojar los componentes y equipos de las distintas instalaciones, de forma que no interfieran, ni supongan un obstáculo, en la circulación de trenes, ni en las rutas de evacuación de las personas. En caso necesario, se realizarán nichos o ampliaciones de la sección transversal para alojarlos.

En particular, se prestará atención a:

- Conductos longitudinales y equipos para la ventilación del túnel y sus dependencias anejas, definidos en el estudio de ventilación del apartado 5.1.12.
- Línea aérea de contacto y sus elementos asociados (aparatos tensores, seccionadores, etc.).
- Equipos de comunicación (teléfonos de emergencia, repetidores de radiocomunicaciones GSM y GSM-R, etc.).

El cable radiante irá colgado, por medio de perchas, en la zona de bóveda, respetando el gálibo eléctrico de la línea aérea de contacto.

- Equipos de señalización y de control de tráfico ferroviario.

### 3.1.2.6. Condiciones de explotación

En túneles con doble vía, se recomienda evitar las secciones con entrejes reducidos, debido al mayor riesgo de choque por desplazamiento lateral de las cargas, consecuencia de la mayor presión aerodinámica generada durante el cruce de trenes. Si en la explotación se prevé el cruce de trenes de mercancías con viajeros a  $v > 180$  km/h, se recomiendan entrejes no inferiores a 4,7 m.

### 3.1.2.7. Resumen de condicionantes mínimos de la sección transversal

Los condicionantes mínimos que deberá cumplir la sección transversal, en función del tipo de túnel, se indican en el cuadro adjunto.

CONDICIONANTES MÍNIMOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	TIPO DE TÚNEL			
	III	II	I	
			L ≤ 6.000 m	L > 6.000 m
Doble tubo. Túneles paralelos de vía única	---	---	A estudiar	Recomendado en ausencia de estaciones subterráneas intermedias
Drenaje de aguas de infiltración, escorrentía, etc.	Si	Si	Si	Si
Sistema separativo de recogida de vertidos líquidos	A estudiar	A estudiar	A estudiar	A estudiar
Vía en placa por condiciones de drenaje	---	---	A estudiar	A estudiar
Espacio para equipos de ventilación	---	---	Si	Si
Espacio para conductos de ventilación de dependencias anejas	A estudiar	A estudiar	Si	Si
Espacio para canalizaciones	Si	Si	Si	Si
Aceras o vía en placa transitable para evacuación de pasajeros.	Si	Si	Si	Si
Calzadas para circulación de vehículos	---	---	A estudiar	A estudiar
Espacio para instalac. ferroviarias: catenaria, señalización, etc.	Si	Si	Si	Si
Espacio para instalac. no ferrov. (generales)	Si	Si	Si	Si

### 3.1.2.8. Secciones tipo orientativas

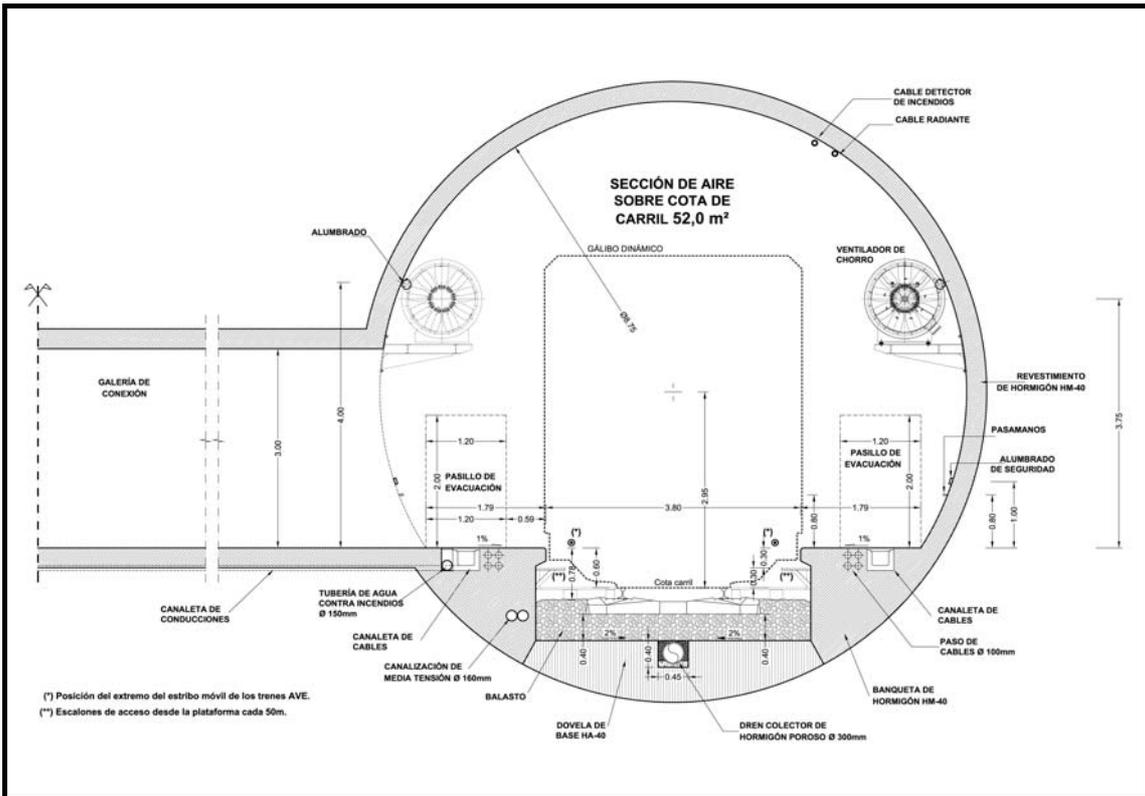


Figura. 3.1.2.8.I.- Túnel de vía única con galerías de conexión

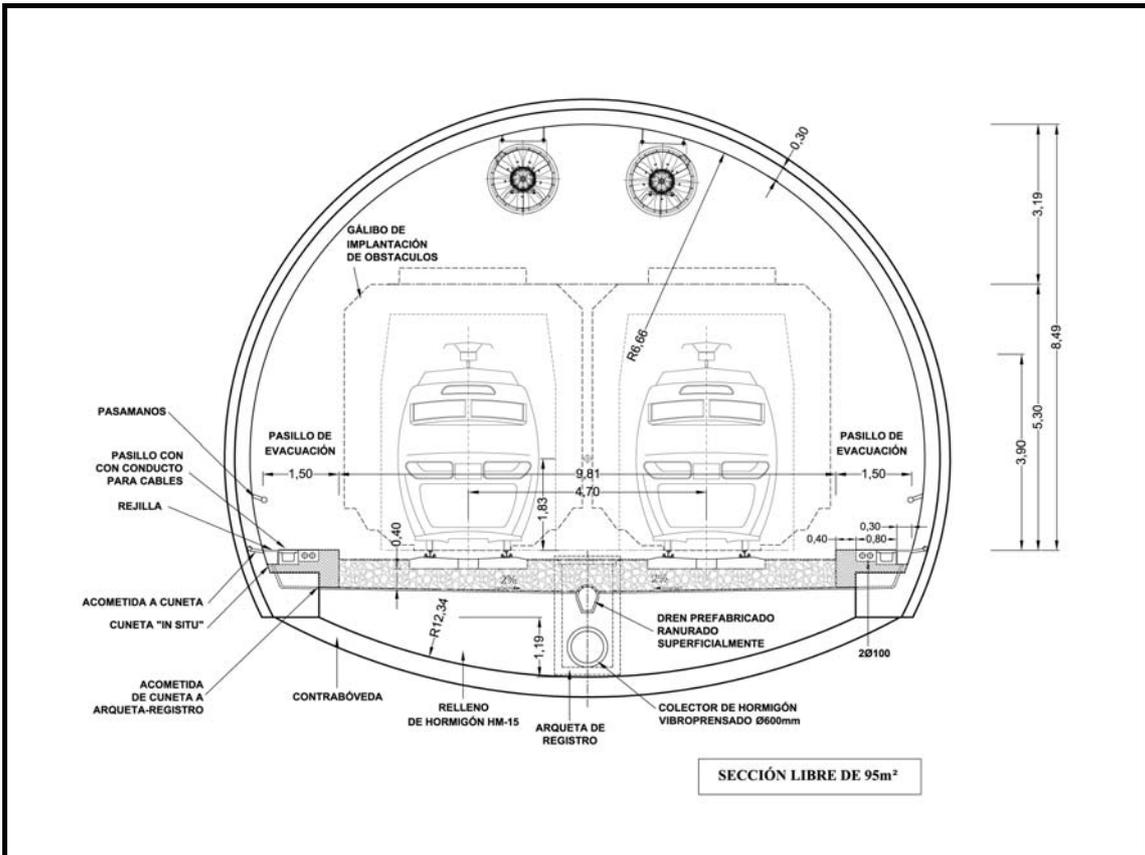


Figura. 3.1.2.8.II.- Túnel de vía doble

### 3.1.3. Rutas de evacuación

#### Definición

Son itinerarios, generalmente para uso exclusivo de personas, que se inician en un punto del túnel y finalizan en una zona segura.

### **Objeto**

Facilitar, en caso de incidente grave en el túnel, la evacuación rápida y segura de las personas, especialmente en caso de incendio, donde las condiciones ambientales del túnel empeoran rápidamente debido al calor y a los humos producidos. Asimismo, facilitan el acceso a los equipos de intervención.

### **Ámbito de aplicación**

Todos los túneles dispondrán de rutas de evacuación adecuadas, constituidas por uno o varios de los siguientes elementos:

- Aceras o plataformas transitables para peatones a lo largo del túnel.
- Galerías o pozos de conexión entre túneles paralelos.
- Salidas de emergencia: galerías o pozos.

El proyectista definirá las que considere necesarias; sus características físicas, estructurales y funcionales; su equipamiento e instalaciones y cuanto sea preciso para cumplir su función.

Para su selección se recomienda seguir el siguiente orden de preferencia: 1º) conexión a túnel paralelo; 2º) salida a la boca del túnel; 3º) salida de emergencia al exterior.

### **Características comunes**

Todas las rutas de evacuación deberán cumplir lo siguiente:

- Atmósfera respirable y con cierta visibilidad, al menos durante el tiempo necesario para la evacuación. El aire tendrá las características mínimas para situación de emergencia indicadas en el Cuadro 5.1.12.I. lo que se justificará en el correspondiente estudio de ventilación.
- Distancia máxima desde cualquier punto del túnel hasta una zona libre de humos fuera del tubo afectado: 750 m (equivalente a un tiempo aproximado de recorrido de 12 minutos), salvo que se justifique que se alcanza un nivel de seguridad equivalente con la implantación de medidas alternativas. Esta distancia es un máximo maximorum de tipo general, aplicable en ausencia de otros valores más limitativos establecidos para determinados tipos de ruta, en función del tráfico.
- Altura libre mínima: 2,25 m.
- Ausencia de obstáculos (armarios eléctricos, seccionadores o tensores de catenaria, teléfonos, etc.) que no respeten la anchura mínima establecida o dificulten el tránsito (p.ej. cables o tuberías en la solera). El alojamiento de estos equipos e instalaciones deberá preverse en el proyecto de la sección transversal.
- Las aceras del túnel dispondrán de pasamanos junto al hastial; en galerías y pozos, se proyectarán a ambos lados.
- Pavimento antideslizante.

- Reacción al fuego: M0 en los materiales constituyentes y al menos M1 en los materiales instalados.
- Se recomienda evitar el uso de escaleras. En su defecto deberán cumplir la norma “NBE-CPI: Condiciones de protección contra incendios en los edificios” vigente.
- Dispondrán de las instalaciones de comunicación con el Centro de Control definidas en el apartado 5.1.7.

Adicionalmente, cada tipo de ruta deberá cumplir los requisitos técnicos específicos que se indican en los apartados siguientes.

#### **3.1.3.1. Aceras o plataformas ferroviarias transitables**

Todos los túneles deberán disponer de aceras o de plataformas transitables para peatones.

##### **Características específicas de las aceras**

Además de las especificaciones generales para las rutas de evacuación del apartado 3.1.3, deberán cumplir las siguientes:

- En túneles de vía doble, se dispondrán en ambos hastiales. En vía única bastará en uno solo, que en caso de doble tubo será el más próximo al otro tubo.
- Anchura mínima: 1,2 m. Con transiciones adecuadas, se admite su reducción puntual hasta 0,9 m, en una longitud máxima de 2 m.
- Borde de la acera situado a la distancia mínima del eje de vía que marque el gálibo cinemático.
- Nivel de acera situado entre 35 y 50 cm sobre la cota del carril, al objeto facilitar las transiciones tren- acera- vía.

En túneles de vía única con una sola acera, se dejará en el hastial opuesto a ésta, una zona de paso de 0,9 m de ancho por 2 m de alto, como mínimo, dotada de pavimento antideslizante, para permitir el desplazamiento de los equipos de intervención entre los extremos del tren.

##### **Características específicas de las plataformas ferroviarias transitables**

Cuando se prevea la evacuación a través de la plataforma ferroviaria, además de las especificaciones generales para las rutas de evacuación del apartado 3.1.3, se deberán cumplir las siguientes:

- La plataforma será transitable para los peatones, situada a nivel de la cota del carril y sin obstáculos ni huecos en su superficie que puedan dificultar la evacuación.
- El sistema de control del tráfico ferroviario permitirá interrumpir la circulación en el túnel, en un plazo máximo de 3 min, tras producirse una incidencia en éste que obligue a la evacuación.
- Se garantizará que los vehículos ferroviarios que vayan a circular por el túnel incorporen dispositivos para salvar el desnivel entre la plataforma del vehículo y la de la vía.

#### **3.1.3.2. Galerías o pozos de conexión entre túneles paralelos**

Todos los túneles de sección bitubo, o monotubo con galería auxiliar longitudinal, se interconectarán mediante galerías transversales o pozos.

#### **Características específicas**

Además de las especificaciones generales para las rutas de evacuación del apartado 3.1.3, deberán cumplir las siguientes:

- Separación máxima entre galerías o pozos contiguos: 500 m, reduciéndose a 250 m en el caso de trenes de alta ocupación ( $\geq 1.000$  viajeros/tren).
- Anchura mínima del itinerario: 2,25 m.
- Pendiente máxima en galerías: 8%, con ausencia de puntos bajos en su perfil longitudinal.
- Dispondrán, en ambos extremos, de puertas estancas con apertura hacia la vía (para evitar que el agolpamiento de pasajeros en el extremo de salida de la galería impida su apertura) y retranqueadas hacia la galería o pozo, para no interrumpir el paso por la acera del túnel. Sus dimensiones mínimas serán de 1,8 m de ancho por 2 m de alto. Deberán abrirse, en cualquier circunstancia, aplicando una fuerza inferior a 250 N y dispondrán de dispositivos para informar de su apertura al Centro de Control Técnico.
- Atmósfera adecuada durante el tiempo necesario para la evacuación, cumpliendo las limitaciones del Cuadro 5.1.12.I para condiciones normales, lo que se justificará en el correspondiente estudio de ventilación.
- Los entronques con el túnel estarán señalizados conforme a lo indicado en el apartado 5.1.4, de forma que se puedan identificar desde lejos.
- Dispondrán de un extintor manual similar al indicado en el apartado 5.1.13 para los locales técnicos.

#### **3.1.3.3. Salidas de emergencia**

Son aquellas que conectan directamente el túnel con el exterior. Pueden ser pozos (habituales en zonas urbanas y con túneles de poca profundidad), galerías o combinaciones de ambos.

#### **Características específicas**

Se diseñarán simultáneamente para facilitar el autorrescate (evacuación de personas) y el rescate (ayuda externa).

Además de las especificaciones generales para las rutas de evacuación del apartado 3.1.3, deberán cumplir las siguientes:

- Separación máxima entre galerías o pozos contiguos:
  - 1.500 m, en túneles de longitud  $L > 3.000$  m.
  - 750 m, en túneles de longitud  $L > 2.000$  m con trenes de alta ocupación ( $\geq 1.000$  viajeros/tren).
- Anchura mínima del itinerario: 2,25 m.

- En el caso de galerías:
  - Pendiente máxima: 8%
  - Las de longitud superior a 300 m deberán ser accesibles a vehículos ligeros, siendo recomendable en el resto. En ese caso, deberán permitir el paso simultáneo de vehículos y personas, además de disponer de zonas de estacionamiento y maniobra en su interior y acceso viario a la boca desde la red de carreteras.
- En el caso de pozos:
  - Profundidad máxima: 50 m. Los mayores de 30 m, además de las escaleras, dispondrán de ascensores de emergencia, siendo recomendable instalarlos también en los de más de 15 m.
  - Los ascensores, en su caso, cumplirán las especificaciones de la norma NBE-CPI vigente para los ascensores de emergencia, con dimensiones en planta análogas a las de uso hospitalario y capacidad de carga mínima de 2.000 kg.
- Dispondrán de un sistema de drenaje para mantener en seco la superficie de tránsito de las personas.
- Atmósfera adecuada durante el tiempo necesario para la evacuación, cumpliendo las limitaciones del Cuadro 5.1.12.I para condiciones normales, lo que se justificará en el correspondiente estudio de ventilación. Por ello, las eventuales salidas de humos o gases procedentes de un incendio o vertido, así como las entradas de aire fresco, se canalizarán por espacios independientes a los de circulación de personas o vehículos, en su caso.
- Los entronques con el túnel estarán señalizados conforme a lo indicado en el apartado 5.1.4, de forma que se puedan identificar desde lejos.
- El extremo de la salida de emergencia que conduce al exterior dispondrá de una puerta de dimensiones mínimas 1,8 m (ancho) x 2 m (alto), con barra antipánico por el interior y cerradura de seguridad por el exterior. Además dispondrá de una superficie mínima de 6 m<sup>2</sup> para entrada de aire de ventilación. Se recomienda disponer los elementos anteriores en una construcción de tipo templete.
- En el extremo próximo al túnel se instalará un extintor manual similar al indicado en el apartado 5.1.13 para los locales técnicos.

### **3.1.4. Zonas seguras**

#### **Definición**

Son zonas libres de riesgo, a las que se llega a través de las rutas de evacuación y en las que se puede permanecer el tiempo necesario hasta ser evacuado.

Siempre que cumplan los requisitos necesarios, pueden considerarse zonas seguras:

- Las zonas exteriores al túnel.

- Túneles y galerías auxiliares paralelos, que cumplan ciertos requisitos.
- Las estaciones subterráneas, que cumplan ciertos requisitos.

### **Características generales**

Todas las zonas seguras deberán cumplir lo siguiente:

- Atmósfera adecuada durante un tiempo indefinido, cumpliendo las limitaciones del Cuadro 5.1.12.I para condiciones normales.
- Accesibilidad para los equipos de rescate y evacuación de personas.
- Disponer de una instalación de comunicación con el Centro de Control.

#### **3.1.4.1. Zonas exteriores al túnel**

Son las situadas en las proximidades de las bocas o salidas de emergencia del túnel, siendo las zonas más seguras de todas, siempre que cumplan los requisitos del apartado anterior.

### **Características específicas**

En túneles de tipo I, además de las especificaciones generales para zonas seguras del apartado 3.1.4, deberán cumplir las siguientes:

- Dispondrán de accesos viarios para los equipos de intervención y la evacuación de los heridos, que estarán pavimentados y debidamente señalizados. Su anchura permitirá el cruce de dos vehículos pesados.

En casos excepcionales de dificultad manifiesta para alcanzar la boca del túnel, los accesos podrán quedarse a un máximo de 2 km de ésta, conectando ambos mediante un camino de evacuación.

- Dispondrán, en las proximidades de cada boca, de un área de socorro constituida por una plataforma con superficie mínima de 500 m<sup>2</sup>, para acoger a las personas procedentes de la evacuación de un tren, así como para la maniobra y el estacionamiento de los vehículos utilizados por los equipos de intervención. Dicha plataforma estará conectada con la boca mediante un camino de evacuación.

En el caso de túneles contiguos con separación entre bocas inferior a 1.000 m, la plataforma podrá ser común.

En zonas urbanas, donde sea inviable la disposición de estas plataformas, pueden utilizarse las calles próximas para esta función.

- Dispondrán de una plataforma auxiliar, de uso eventual, que permita el aterrizaje de un helicóptero para casos de emergencia.

Lo anterior también es de aplicación al caso de túneles contiguos, con difícil acceso a los tramos intermedios a cielo abierto (por existir grandes desmontes o viaductos) y cuya longitud conjunta sea similar.

#### **3.1.4.2. Túneles y galerías auxiliares paralelos**

Son zonas seguras, accesibles rápidamente desde cualquier punto del túnel en el que se produzca un incidente.

### **Características específicas**

Para considerarlos como zona segura, además de las especificaciones generales del apartado 3.1.4, deberán cumplir las siguientes:

- Dispondrán de un sistema (ventilación, puertas estancas, etc.) que impida la entrada de humos desde el tubo siniestrado al no siniestrado, o a la galería paralela, en su caso.
- En el caso de túneles paralelos, el sistema de control del tráfico ferroviario permitirá interrumpir la circulación en un tubo, en un plazo máximo de 5 min, tras producirse en el otro una incidencia que obligue a la evacuación del tren.

Además, para que un túnel o galería auxiliar paralelos se consideren rutas de evacuación, deberán cumplir las especificaciones de los apartados 3.1.3 “Rutas de evacuación” y de sus apartados: “Aceras o plataformas transitables del túnel” y “Galerías o pozos de conexión entre túneles paralelos”.

### **3.1.4.3. Estaciones subterráneas**

#### **Características específicas**

Para considerarlas como zonas seguras, además de las especificaciones generales del apartado 3.1.4, deberán cumplir las siguientes:

- Disponer de una ruta de evacuación al exterior a través de las propias salidas de la estación o de una salida de emergencia.
- Que los viajeros puedan evacuar un tren y alcanzar el exterior en un tiempo máximo de 6 minutos, lo que se justificará en el proyecto con modelos de cálculo adecuados.
- Que su tratamiento en cuanto a prevención y protección de riesgos sea análogo al de los edificios de pública concurrencia.
- Que las transiciones de los andenes con las rutas de evacuación de los tramos de túnel contiguos, además de las especificaciones generales para las rutas de evacuación indicadas en el apartado 3.1.3, cumplan las siguientes:
  - Anchura mínima: 1,2 m.
  - Pendiente máxima: 8%.
- Que dispongan de equipo de primeros auxilios.

### **3.1.5. Resumen de exigencias mínimas en cuanto a rutas de evacuación y zonas seguras.**

En el cuadro adjunto se resumen las exigencias en cuanto a rutas de evacuación y zonas seguras en función del tipo de túnel.

EXIGENCIAS EN CUANTO A RUTAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS		TIPO DE TÚNEL			
		III	II	I	
				L ≤ 6.000 m	L > 6.000 m
Túneles y galerías paralelos		---	---	A estudiar	Recomendado en ausencia de estaciones subterráneas intermedias
Aceras en túnel (en ausencia de vía en placa transitable)	Vía única	En un lado	En un lado	En un lado	En un lado
	Vía doble	Ambos lados	Ambos lados	Ambos lados	Ambos lados
Galerías de conexión con túnel o galería paralelos (en su caso)	≤1.000 viaj./tren	Cada 500m.	Cada 500m.	Cada 500m.	Cada 500m.
	>1.000 viaj./tren	Cada 250m.	Cada 250m.	Cada 250m.	Cada 250m.
Salidas de emergencia intermedias (en ausencia de túnel o galería paralelos)	≤1.000 viaj./tren (L>3.000m)	Cada 1.500m.	Cada 1.500m.	Cada 1.500m.	Cada 1.500m.
	>1.000 viaj./tren (L>2.000m)	Cada 750m.	Cada 750m.	Cada 750m.	Cada 750m.
Acceso viario a las zonas exteriores de acceso al túnel		---	---	SI	SI
Plataforma aterrizaje helicópteros		---	---	SI	SI

### **3.1.6. Locales Técnicos y estaciones de ventilación**

#### **Definición**

Son recintos donde se ubican instalaciones y equipos del túnel, tales como estaciones de ventilación, subestaciones eléctricas de tracción, equipos de comunicación y control de tráfico, equipos de bombeo, centros de transformación, cuadros de control y maniobras, equipos de corrientes débiles y sistemas de alimentación ininterrumpida (SAIs).

#### **Objeto**

Centralizar y proteger las instalaciones y equipos, minimizando su influencia mutua con el túnel y facilitando su mantenimiento.

#### **Ámbito de aplicación**

Los locales técnicos y las estaciones de ventilación se colocarán en aquellos túneles donde la configuración y el diseño de las instalaciones los hagan necesarios.

#### **Características**

- Se recomienda agrupar las instalaciones y equipos del túnel en dos tipos de locales técnicos, separados para evitar interferencias electromagnéticas:
  - De equipos eléctricos, donde se ubicarán los centros de transformación (de línea de distribución en 20 KV a alimentación de equipos en 380 V) con toda la aparamenta necesaria (transformadores, celdas de AT, protecciones, etc.) y los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAIs).
  - De equipos de corrientes débiles, que contendrán autómatas, centrales de incendios, equipos de señalización y de telecomunicaciones, etc.
- Las estaciones de ventilación, en su caso, se recomienda agruparlas con los locales técnicos de equipos eléctricos, ubicándolas preferentemente junto a los pozos de ventilación.
- Las subestaciones eléctricas de tracción, debido a sus mayores dimensiones y a la necesidad de buena ventilación, se recomienda situarlas fuera del túnel.
- También, los locales técnicos, por su mayor riesgo de incendio, se recomienda situarlos fuera del túnel. En su defecto, cuando existan estaciones subterráneas, se instalarán preferentemente junto a ellas.
- El acceso a los locales con mayor riesgo de incendio, por alojar centros de transformación, cuadros eléctricos, grupos electrógenos, etc., dispondrá de un vestíbulo de independencia.

### **3.1.7. Depósitos y pozos de bombeo de vertidos**

#### **Definición**

Son receptáculos situados en puntos bajos del túnel o en el exterior de éste, para la recogida de líquidos infiltrados o vertidos en él.

### **Objeto**

El objeto de los depósitos es almacenar los vertidos líquidos recogidos en túneles con sistema separativo, hasta su posterior retirada por personal especializado.

El objeto de los pozos es recoger y evacuar, mediante bombeo, los líquidos acumulados en puntos bajos del túnel, aportando además una cierta capacidad reguladora.

### **Ámbito de aplicación**

Los depósitos se instalarán en todos los túneles con sistema separativo de drenaje y evacuación de líquidos vertidos.

Los pozos de bombeo se instalarán en los túneles con puntos bajos en su trazado, donde no exista otra posibilidad de evacuación.

### **Criterios de proyecto**

Los caudales de proyecto serán los previstos en el apartado 3.1.2.3.

#### **A) Sistema separativo**

En cada punto bajo, las **aguas limpias procedentes de infiltración** se recogerán en un pozo de bombeo, dotado de bombas de accionamiento automático. Sus dimensiones permitirán alojar las bombas normales y de reserva, con la separación necesaria para su mantenimiento.

Las **aguas de escorrentía y el resto de los vertidos** se recogerán y almacenarán en uno o varios depósitos estancos e independientes, situados en los puntos bajos del túnel y en las bocas cuya rasante esté por debajo de la del túnel. Los situados en el interior del túnel deberán ser subterráneos.

Cada depósito dispondrá de equipos de bombeo con accionamiento manual telemandado desde el Centro de Control Técnico, para la extracción periódica de los líquidos poco contaminantes (aguas de escorrentía, de limpieza del túnel, etc.). Los vertidos peligrosos, tóxicos o contaminantes, se extraerán únicamente por personal especializado (bomberos, etc.), utilizando bombas adecuadas al tipo de fluido (corrosivo, inflamable, denso, etc.).

Su capacidad permitirá recoger los volúmenes procedentes de: vertido de vagones cisterna (80 m<sup>3</sup>); aportes durante 1 hora de agua de escorrentía, actuación de los bomberos (120 m<sup>3</sup>), agua procedente de rociadores (en su caso), etc.

#### **B) Sistema unitario**

En cada punto bajo, todas las aguas y vertidos, se recogerán en un único pozo de bombeo dotado de bombas de accionamiento automático.

### **Características**

Los pozos de bombeo y los depósitos:

- Constarán de un recinto estanco de hormigón armado. Su construcción no afectará a la estabilidad del túnel, ni su ubicación a la funcionalidad de éste.
- Serán visitables, disponiendo de una trampilla y de unos pates para el acceso del personal hasta el fondo.
- Dispondrán de un pasatubos con tubo guía, para la bajada de una bomba sumergible portátil, para la limpieza de lodos, bombeo auxiliar, recogida de vertidos, etc.
- En sistemas separativos, el diseño de las trampillas y pasatubos de los pozos para recogida de aguas de infiltración deberá impedir el paso de aguas de escorrentía o vertidos su interior.
- El espacio situado sobre el pozo o depósito será accesible para las personas y equipos, y con amplitud suficiente para realizar el mantenimiento (sustitución, reparación, etc.).
- En los depósitos, se dispondrán de pasatubos y una tubería de acero resistente a la corrosión, de diámetro no inferior a 10 cm, para la salida y dispersión de los gases hasta un área ventilada. Su extremo estará a un mínimo a 3 m sobre el nivel del suelo, disponiendo de una caperuza de protección o codo para evitar la entrada de suciedad.

### **3.1.8. Características estructurales**

#### **3.1.8.1. Sostenimiento y revestimiento**

En función de las características del túnel (sección, profundidad, longitud, etc.) y de su entorno (características del terreno a excavar, nivel freático, afección a otras construcciones, etc.), el proyectista determinará el método o combinación de métodos de excavación más adecuados (inglés, belga, alemán, austriaco, por voladuras, con rozadora, con escudo, con tuneladora, etc.), a fin de garantizar la estabilidad del hueco excavado, tanto a corto, como a largo plazo.

Dicha estabilidad se obtendrá aplicando un refuerzo estructural, constituido generalmente por un sostenimiento (estabilidad provisional en fase de construcción), más un revestimiento (estabilidad definitiva) colocado sobre aquél. Excepcionalmente, en casos muy favorables o con determinados métodos de excavación, podrá prescindirse del primero, aunque en ningún caso del segundo, al objeto de aumentar la seguridad de la excavación, ante un eventual incendio o degradación del terreno a largo plazo. El revestimiento se colocará una vez estabilizados los movimientos de la excavación.

En el proyecto de los sostenimientos (cerchas metálicas; hormigón proyectado con o sin fibras; bulones; precorte del perímetro y adición de hormigón proyectado; entibación con rollizos de

madera y tablazón o chapas, etc.) y de los revestimientos, se aplicarán criterios y métodos suficientemente contrastados.

El proyectista evaluará la necesidad de incrementar el refuerzo estructural en aquellas zonas que lo requieran, tales como transiciones entre terrenos de rigidez muy diferente (fallas, etc.), bocas con riesgo de deslizamiento de tierras o aludes, etc.

En los terrenos donde se prevea la aparición a largo plazo de subpresiones o empujes del terreno (terrenos evolutivos), se proyectará contrabóveda en la solera. En los demás casos será suficiente con colocar una losa plana (de hormigón armado o en masa) o una losa de regularización (únicamente en roca sana no evolutiva). En ningún caso se permitirán los rellenos de material granular.

Se recomienda impermeabilizar los túneles en los que exista presencia de agua, incluyendo sus dependencias anejas subterráneas. El elemento impermeabilizante quedará siempre protegido bajo el revestimiento.

#### – 3.1.8.2. Protección contra el fuego

El incremento de temperatura provocado por un incendio, puede alterar las características físicas, químicas y portantes de los elementos constructivos, originando su degradación y consiguiente pérdida de funcionalidad<sup>1</sup>. Los daños serán función de la máxima potencia calorífica liberada.

A título orientativo, el cuadro 3.1.8.2. recoge la incidencia producida por distintos tipos de incendios sobre la estructura resistente de un túnel sin protección específica.

TIPO DE VEHÍCULO INCENDIADO	POTENCIA MÁXIMA DEL INCENDIO (Mw)	DURACIÓN DEL INCENDIO (horas)	AFECCIÓN AL SOSTENIMIENTO/ REVESTIMIENTO	NIVEL DE LOS DAÑOS
Locomotora eléctrica o coche de viajeros	15	1	PROBABLE	MUY BAJO
Locomotora Diesel o vagón de mercancías	30	2	MUY PROBABLE	BAJO
Vagón de mercancías peligrosas	300	4	SEGURA	INTENSO

<sup>1</sup> En el hormigón, a partir de los 250°C, el vapor de agua generado en su interior crea una presión que produce el desconchado en su cara vista ("spalling"). A partir de 300°C se producen pérdidas de agua en el gel de cemento y transformaciones en los áridos, apareciendo las primeras grietas. A partir de 600°C el hormigón se empieza a disgregar, reduciéndose su resistencia a compresión simple a la mitad.

Análogamente, el acero, a partir de los 400°C, pierde parte de su resistencia a tracción al volver a la temperatura ambiente.

### Cuadro 3.1.8.2.- Incidencia de un incendio sobre un túnel.

#### – Objeto

Asegurar, en caso de incendio:

- 1) Un determinado comportamiento o reacción al fuego de los materiales.
- 2) Que los elementos constructivos satisfacen, durante el tiempo de evacuación del túnel y actuación de los equipos de intervención, determinadas exigencias en cuanto a:
  - a) Estabilidad o capacidad portante.
  - b) No emisión de gases inflamables en la cara no expuesta.
  - c) Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes.
  - d) Aislamiento o resistencia térmica al paso de calor hacia la cara no expuesta.

#### – Ámbito de aplicación

A todo tipo de túneles, independientemente de su longitud, así como a sus dependencias anejas.

#### – Criterios de proyecto

##### 1. Curvas de calentamiento

El proyectista, en función del tipo de tráfico, fijará las características del incendio de proyecto. A falta de datos específicos en cuanto a carga de combustible, aporte de O<sub>2</sub>, etc., podrá utilizar como acciones térmicas normalizadas, las curvas de calentamiento definidas en las UNE-EN 1363-1 y 2 /2000, recogidas en la figura 3.1.8.2., que se indican a continuación.

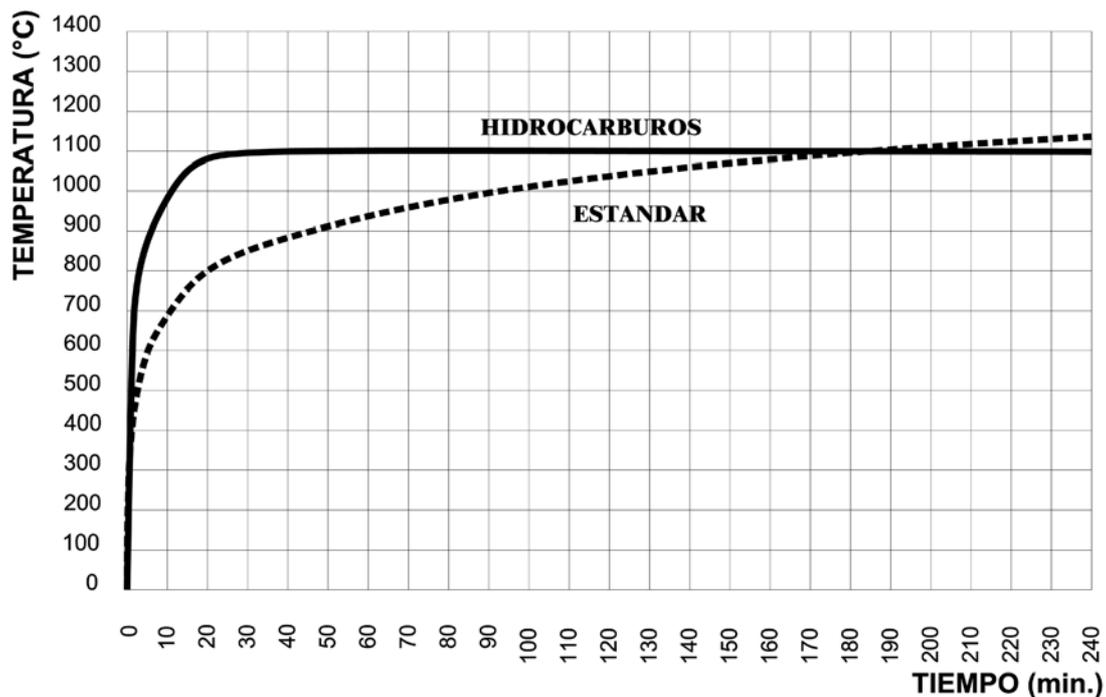
Curva estándar:  $T = 345 \cdot \log_{10}(8 t + 1) + 20$

Curva de hidrocarburos:  $T = 1080[1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}] + 20$

donde:

T: temperatura media, en °C.

t: tiempo desde el inicio del fuego, en min.



**Figura 3.1.8.2.- Curvas de evolución de temperaturas en un incendio.**

## 2. Requisitos de comportamiento frente al fuego

Los requisitos de comportamiento frente al fuego de los distintos elementos constructivos presentes en el túnel serán los siguientes:

- Todos los materiales susceptibles de exposición al fuego, utilizados en la construcción de túneles y dependencias anejas, deberán tener una reacción al fuego de clase **MO**, según la norma **UNE 23727**. Mediante una justificación específica podrán utilizarse materiales de clase **M1**. En ningún caso deberán emitir gases tóxicos.
- Los conductos de ventilación serán capaces de soportar una temperatura de 400 °C durante 2 h sin sufrir daños.
- Elementos estructurales (portantes) del túnel y de las dependencias anejas: estabilidad al fuego de dos horas (**EF-120**).
- Elementos separadores (incluidas las puertas): resistencia al fuego de dos horas (**RF-120**).
- Revestimientos de túneles cuyo colapso pueda provocar su inundación, o que soporten directamente las cargas de cimentación de edificios: estabilidad al fuego de cuatro horas (**EF-240**).

Todas las exigencias anteriores se entenderán referidas a la curva de calentamiento correspondiente. Los conceptos de estabilidad y resistencia al fuego son los recogidos en la NBE-CPI vigente.

Los requisitos de resistencia al fuego exigidos a los cables se recogen en el apartado 5.1.1. Los exigidos a los ventiladores se describen en el 5.1.12.

### 3. Alternativas de protección

En general, la protección frente al fuego de los elementos constructivos (estructurales y separadores) del túnel y de sus dependencias anejas podrá realizarse colocando sobre las superficies expuestas al fuego, un elemento aislante, o incorporando en la masa del hormigón, elementos, como las fibras de polipropileno, que limiten los daños derivados de las acciones térmicas.

La opción de sobredimensionar los elementos estructurales de hormigón para soportar las acciones térmicas, no es aconsejable, pues obliga a realizar reparaciones importantes tras el incendio.

### 4. Comprobación del comportamiento frente al fuego

Para evaluar el comportamiento frente al fuego de cualquier elemento constructivo, se podrán utilizar cualquiera de los siguientes métodos:

4.1) Realización de ensayos de verificación de la resistencia al fuego, según las normas **UNE-EN 1363 (2000)** y **UNE 23727** correspondientes al tipo de elemento estructural estudiado.

4.2) Comprobación analítica de los Estados Límites Últimos. El método más general y completo incluirá los siguientes pasos:

- Modelización numérica, del proceso de transferencia de calor por convección y radiación, desde el foco del fuego hasta la superficie del elemento estructural, y desde éste, por conducción, hacia su interior. Se parte de la correspondiente acción térmica (curva de calentamiento) y se obtiene la distribución de temperaturas (isotermas) en las secciones críticas del elemento en distintas fases del incendio.
- Determinación de las curvas de variación de las propiedades mecánicas de los materiales con la temperatura: resistencias características y módulos de deformación.
- Análisis estructural: en las secciones críticas de la estructura y para las fases más desfavorables del incendio, se obtendrán las tensiones y deformaciones debidas al incremento de temperatura, incluyendo las acciones indirectas derivadas de éste (por plastificaciones, hiperestatismos, etc.).
- Comprobación de que las tensiones y deformaciones totales obtenidas en cada sección o elemento estructural, como suma de las de servicio e incendio, no superan las admisibles.

4.3) Utilización de métodos simplificados consistentes en una o varias de las simplificaciones siguientes:

- Considerar elementos estructurales aislados, despreciando las acciones indirectas debidas al fuego (dilataciones y deformaciones térmicas, etc.).
- Utilizar distribuciones de temperatura (isotermas) preestablecidas, generalmente para secciones rectangulares y curvas de fuego específicas.
- Utilizar modelos sencillos de variación de las propiedades de los materiales con la temperatura.

4.4) Comprobación mediante las tablas del anejo de recomendaciones para la protección contra el fuego de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), de que los espesores y recubrimientos mecánicos de los elementos estructurales, superan los valores del lado de la seguridad indicados en ellas. Para curvas distintas de la estándar será necesario aplicar el concepto de “tiempo equivalente”.

Como criterio simplificado variante del anterior, para el proyecto de elementos de revestimiento, se puede adoptar el siguiente:

- Espesor mínimo de pieza: 15 cm.
- Recubrimiento geométrico mínimo de las armaduras de acero: 4 cm para EF-120 y 6 cm para EF-240 (en ambos casos, sin interposición de mallazo).
- Incorporar a la masa de hormigón una proporción de fibras de polipropileno de 2 kg/m<sup>3</sup>.
- Prestar atención especial al cumplimiento de las relaciones agua/cemento, cuantías geométricas mínimas y condiciones de curado de la Instrucción EHE, a fin de evitar fisuras iniciales por retracción plástica.
- Preferentemente se escogerán barras de armadura de diámetro pequeño, distribuidas uniformemente.
- Prestar atención, en su caso, a las juntas de estanqueidad entre elementos de hormigón, pues si no están bien selladas pueden facilitar la penetración del calor, reduciendo la resistencia al fuego del elemento.

### **3.1.9. Superestructura ferroviaria**

En caso de existir aparatos de vía (desvíos y cruzamientos) en el interior del túnel, serán de tipo punta de corazón móvil, a fin de reducir el riesgo de descarrilamiento.

En túneles de longitud mayor de 5.000 m, el proyectista analizará la conveniencia de proyectar vía en placa de hormigón con el fin de facilitar la evacuación de los vertidos, la transitabilidad de peatones o vehículos por su interior y el mantenimiento en fase de servicio.

Las traviesas a utilizar en el interior de los túneles deberán ser de hormigón monobloque. Para los aparatos de vía, también serán de hormigón.

#### **3.1.10. Plan de auscultación**

Todo proyecto de túnel deberá incorporar un Plan de auscultación, con objeto de verificar el comportamiento del terreno durante su construcción, para adoptar, en su caso, las medidas correctoras necesarias. El proyectista prestará atención especial al análisis de los tramos en los que el comportamiento del terreno pueda afectar negativamente a la explotación, definiendo la metodología y medios necesarios para conocer y evaluar el comportamiento de los elementos estructurales a lo largo de su construcción y explotación, con el fin de detectar posibles problemas.

El Plan definirá el objeto de la instrumentación, tipología y número de sensores a colocar, su ubicación, plan de lecturas, medidas estimadas, umbrales de alarma, criterios de actuación en caso de superarse éstos, etc.

### **3.2. Aspectos a tener en cuenta durante la construcción**

Durante la construcción de la obra civil no se reducirán, en ningún caso, los niveles de seguridad adoptados en el proyecto. En consecuencia, no se realizarán modificaciones de ningún elemento de la obra civil, que afecten negativamente a la seguridad o funcionalidad del túnel, o que incrementen significativamente los costes de las instalaciones o del mantenimiento.

#### **3.2.1. Memoria de construcción**

- Antes de iniciarse el suministro, construcción o instalación de cualquier elemento de obra civil contemplado en este documento, el Constructor entregará al Director facultativo de las obras una Memoria de Construcción, conteniendo:
  - Descripción detallada de los procesos constructivos, fases, elementos y actividades accesorias, etc.
  - Planos, incluidos los de las instalaciones y elementos auxiliares necesarios para su construcción.
  - Plan de seguridad y salud a aplicar durante la construcción.
  - Programa de ejecución de las obras.
  - Plan de Control de Calidad de las obras, con los ensayos y verificaciones a realizar en la recepción y puesta en obra de los distintos materiales, suministros y elementos constructivos, que garanticen el cumplimiento de los criterios y niveles de seguridad establecidos en el proyecto y en esta Instrucción.
  - Marcas CE, certificados de homologación, distintivos de calidad (marcas, sellos...), certificados de ensayo, etc., de los distintos materiales y suministros, emitidos por organismos de certificación o notificados, laboratorios independientes, etc. En cualquier caso, deberán aportarse los exigibles reglamentariamente.
  - Cuando se propongan variaciones al proyecto, deberán justificarse en una memoria descriptiva, que incluirá el análisis detallado de sus repercusiones en el conjunto del túnel, junto con los correspondientes planos y documentos técnicos.
- La Dirección facultativa de las obras comprobará que: la documentación técnica presentada es adecuada y suficiente; los materiales y suministros cumplen con las Prescripciones Técnicas, criterios y niveles de seguridad del proyecto y, en cualquier caso, con la normativa aplicable; las modificaciones planteadas son adecuadas, etc. En caso de conformidad, autorizará el suministro, construcción o instalación correspondiente.

- En caso contrario, el Constructor presentará cuantas justificaciones, ampliaciones o modificaciones documentales sean necesarias para eliminar las objeciones de la Dirección facultativa de las obras.
- En ningún caso el Constructor podrá suministrar, instalar ni construir elemento alguno, sin la autorización previa del Director facultativo de las obras.

### **3.2.2. Recopilación de información**

El Constructor recopilará durante la construcción toda la información necesaria para documentar con precisión la realidad de la obra construida. Para ello, antes de proceder a la recepción formal de la obra, deberá entregar a la Dirección facultativa de las obras, para su posterior entrega al explotador, la siguiente documentación:

- Planos de lo realmente construido (“as built”), con los detalles de todos los elementos estructurales, dependencias anejas subterráneas, drenajes, etc., acompañados de documentación gráfica complementaria.
- Información básica para la redacción del Manual de Explotación indicado en el capítulo 6, y en particular para el Plan de Mantenimiento:
  - Identificación de aquellas partes de la obra civil que, previsiblemente, van a requerir mayor vigilancia: zonas de falla o con problemas de estabilidad durante la construcción; situadas en terrenos degradables o expansivos; boquillas en laderas potencialmente inestables; zonas de túnel bajo en agua o con escasa montera, etc.
  - Identificación de elementos que van a necesitar atención preferente en su mantenimiento: puntos bajos, depósitos y pozos de bombeo, colectores, arquetas, puertas, etc.
  - Instrumentación disponible para la explotación: ubicación, tipo, parámetros controlados, mediciones realizadas, etc.

### **3.2.3. Controles y verificaciones a realizar**

Durante la construcción y, en cualquier caso, antes de la recepción de la obra, el Constructor realizará los controles y verificaciones recogidos en el Plan de Control de Calidad aprobado, detectando y corrigiendo en plazo las posibles deficiencias y variaciones respecto al proyecto. La Dirección facultativa de las obras supervisará la aplicación del Plan. Sin carácter exclusivo, se destacan los siguientes controles:

- Trazado
  - Perfil longitudinal: comprobación de la incidencia en el drenaje y en la ventilación de los puntos altos y bajos; verificación de pendiente mínima, etc.

- Ubicación de las bocas: detección de riesgos naturales o antrópicos, problemas de accesibilidad, etc.
  - Ubicación de estaciones y áreas de estacionamiento o parada: problemas de emplazamiento, accesibilidad, etc.
  - Ubicación de chimeneas y pozos de ventilación: problemas del emplazamiento, accesibilidad, recirculación de aire, afección por vientos dominantes, etc.
- Sección transversal del túnel
- Número de tubos: verificación de su adecuación en función de la longitud del túnel y de la ubicación de las salidas intermedias.
  - Drenaje y evacuación de vertidos líquidos: existencia de dispositivos de captación de agua o areneros en las bocas; presencia de riesgos que demanden un sistema separativo; capacidad y estanqueidad de las canalizaciones y depósitos de recogida; rugosidad de las conducciones; ausencia de puntos de acumulación de líquido; velocidades mínimas; separaciones máximas en arquetas y sumideros; no propagación del fuego a través de colectores; existencia de depósitos o pozos de bombeo en puntos bajos; pruebas de funcionamiento, etc.
  - Impermeabilización, en su caso, de la sección transversal: materiales y disposición constructiva.
  - Ventilación: independencia entre diferentes espacios subterráneos (tubos, zonas seguras, locales técnicos, etc.).
  - Canalizaciones de cables: protección de las mismas.
  - Espacios para otras instalaciones: electrificación ferroviaria, armarios y equipamiento de instalaciones, etc.
  - Transitabilidad por el túnel: rutas de evacuación y, en su caso, calzadas de circulación de vehículos; vía en placa, etc.
  - Gálbo, entreeje, etc.
- Rutas de evacuación
- Disposición y características geométricas:
    - Aceras: número, anchura, posición (altura y separación) respecto al carril.
    - Galerías: separación, longitud, anchura, altura, pendiente máxima, etc.

- Pozos: separación, profundidad, etc.
  - Ausencia de obstáculos que dificulten la evacuación.
  - Existencia de pavimentos antideslizantes.
  - Existencia de pasamanos.
  - Características de la señalización de evacuación.
  - Características de las puertas.
  - Ventilación adecuada con ausencia de humos y gases.
  - Instalaciones de comunicación con el Centro de Control.
  - Existencia de extintores (en galerías y salidas de emergencia).
  - Características de los ascensores y sus acometidas, en su caso.
- Zonas seguras
- Disposición y características geométricas:
    - Zonas exteriores: existencia de plataforma con superficie adecuada.
    - Túneles paralelos: existencia de aceras y galerías de conexión.
    - Refugios: dimensiones, capacidad, seguridad de evacuación.
  - Accesibilidad de los equipos de rescate, caminos de acceso, etc.
  - Ventilación adecuada e independiente.
  - Nivel de iluminación adecuado.
  - Existencia de equipos de primeros auxilios, en su caso.
  - Instalaciones de comunicación con el Centro de Control.
  - Existencia de helipuerto en zonas exteriores al túnel, en su caso.
- Locales técnicos y estaciones de ventilación: ubicación, accesibilidad, dimensiones, equipos e instalaciones a alojar, etc.

- Depósitos y pozos de bombeo de vertidos: necesidad, dimensiones, estanqueidad, accesibilidad, capacidad de recogida independiente en los sistemas separativos, existencia de pasatubos y aperturas para ventilación, etc.
- Materiales constructivos y elementos estructurales (sostenimiento, revestimiento, galerías, forjados, etc.): Comprobación de sus características físicas, químicas y mecánicas y de las sollicitaciones a las que están sometidos:
  - Dimensiones de los distintos elementos.
  - Aspecto externo: existencia de golpes, corrosiones o fisuras; estado de las pinturas, etc.
  - Propiedades y composición química de los materiales.
  - Rigidez de los materiales y de los elementos estructurales.
  - Resistencia y ductilidad de materiales y elementos estructurales, especialmente al ser expuestos a las altas temperaturas de un incendio.
  - Cargas estáticas: pesos propios, cargas muertas, etc.
  - Interacción dinámica de los elementos estructurales con el tráfico y las instalaciones: análisis del contenido en frecuencias de las cargas, problemas de confort o fatiga de los materiales causados por vibraciones, etc.
- Protección frente al fuego
  - Resistencia al fuego de los elementos estructurales.
  - Reacción al fuego de los distintos materiales, suministros y equipos instalados.
  - Protección del cableado.
  - Señalización de evacuación.
- Certificaciones de calidad o conformidad: Comprobación de su validez y concordancia con los materiales y suministros colocados.

#### **3.2.4. Plan de auscultación y seguimiento**

Durante la construcción, y a partir del Plan de auscultación incluido en el proyecto, se redactará y pondrá en marcha el Plan de auscultación y seguimiento definitivo, con los criterios de auscultación que permitan conocer y evaluar el comportamiento de los elementos estructurales del túnel a lo largo de su construcción y explotación.

Para ello, a partir de los riesgos y problemas reales detectados durante la construcción, se identificarán y acotarán las zonas más problemáticas, hayan sido indicadas o no en el proyecto, que requieran una vigilancia especial. Todas ellas se incluirán en el Plan de auscultación y seguimiento definitivo.

Asimismo, incorporará los ajustes necesarios en el tipo de sensores, su ubicación, plan de lecturas, medidas estimadas, umbrales de alarma, criterios de actuación, etc., para mejorar -nunca reducir- el nivel de conocimiento de la estructura previsto en el proyecto.

Toda la información sobre auscultación, obtenida durante la construcción, se recogerá en una base de datos que se entregará al explotador para su uso.

### **3.3 Aspectos a tener en cuenta durante la explotación**

Antes de la puesta en servicio del túnel, se comprobará que se han realizado los controles y verificaciones indicados en el apartado 3.2.3.

Durante la explotación se verificarán y mantendrán los criterios y parámetros de seguridad adoptados en el proyecto y construcción de la obra civil. En consecuencia, cualquier modificación que durante la explotación sea preciso realizar en la obra civil, se analizará en detalle, garantizándose que en ningún caso se reducen los niveles de seguridad adoptados en el proyecto para el conjunto del túnel.

#### **3.3.1. Actuaciones preliminares**

Previamente a la entrada en servicio del túnel, y según lo indicado en el capítulo 6, se redactará, aprobará e implantará su correspondiente Manual de Explotación, con un Plan de Mantenimiento de la obra civil que asegure su conservación en perfecto estado.

El Plan de Mantenimiento, según el apartado 6.1.4.2, incluirá capítulos específicos para cada parte de la obra civil, donde se recogerán las operaciones a realizar, así como su alcance y periodicidad. Todo ello se realizará de acuerdo con los reglamentos vigentes, los estándares del fabricante, las indicaciones procedentes de la construcción y la buena práctica de mantenimiento.

#### **3.3.2. Criterios generales de mantenimiento**

##### **3.3.2.1. Operaciones a realizar**

**Objeto:** Detectar posibles deterioros o problemas en la obra civil, que pudieran ser causa de incidentes durante la explotación.

Todas las inspecciones, verificaciones y trabajos a realizar durante las operaciones de mantenimiento, serán periódicos y similares a los realizados antes de la recepción de la obra civil, e indicados en el apartado 3.2.3.

Sin carácter exclusivo, las operaciones de mantenimiento consistirán en:

- Inspección de todos los espacios subterráneos, con el fin de detectar la aparición de fisuras, humedades, corrosiones, deformaciones, roturas, cambios en el comportamiento del terreno, etc. En particular:
  - Revisión de las bocas, especialmente si están sometidas a riesgos naturales o antrópicos.
  - Revisión de zonas del túnel especialmente sensibles: afectadas por problemas de estabilidad durante la construcción, situadas en terrenos degradables o expansivos, con fuerte presencia de agua, etc.
  - Seguimiento de la auscultación del túnel: plan de lecturas de los sensores, análisis de los datos obtenidos y actuaciones previstas tras superarse los umbrales de alarma.

- Verificación del estado de las canalizaciones del cableado.
- Inspección y limpieza de:
  - Sistemas de drenaje y de recogida de vertidos líquidos: conducciones, arquetas, depósitos, pozos de bombeo, areneros, etc. Se prestará atención a la presencia de filtraciones, humedades e indicios de mal funcionamiento (charcos, etc.).
  - La vía y sus inmediaciones: objetos caídos, obstáculos, defectos, etc.
- Inspección, mantenimiento y limpieza de zonas seguras y locales técnicos, incluyendo sus instalaciones y equipamientos (ventilación, iluminación, instalaciones de comunicación, equipos de primeros auxilios, etc.).
- Inspección, mantenimiento y limpieza de las rutas de evacuación, incluyendo sus instalaciones y equipamientos: ventilación, instalaciones de comunicación, extintores, ascensores, pasamanos, puertas, señalización de evacuación, etc. Deberá eliminarse cualquier obstáculo situado a lo largo de las rutas y mantener las características antideslizantes de los pavimentos.
- Verificación de las características de resistencia al fuego de todo material que se incorpore a la infraestructura, superestructura o instalaciones durante la explotación.
- Seguimiento de cuantas especificaciones e indicaciones se hayan fijado durante la construcción, para la conservación de la obra civil.

### **3.3.2.2. Documentación y priorización de actuaciones correctoras**

Con los resultados de las inspecciones, verificaciones y operaciones rutinarias de mantenimiento realizadas, se redactarán informes que recojan, para cada parte de la obra civil:

- Elementos integrantes.
- Situación y localización.
- Estado de dichos elementos, con las anomalías detectadas en la inspección.
- Operaciones efectuadas.
- Necesidades y carencias de los elementos más representativos inspeccionados.
- Reparaciones y reposiciones necesarias.

Asimismo, se establecerá un plan de valoración de los resultados obtenidos tras la inspección y verificación del estado de la obra civil y del funcionamiento de sus instalaciones y

sistemas. En él, se desarrollarán los criterios que permitan graduar la urgencia de cada una de las actuaciones necesarias para subsanar todas las irregularidades detectadas, estableciendo su priorización.

### **3.3.3. Verificación del mantenimiento**

Para verificar el cumplimiento del Plan de Mantenimiento de la obra civil, se realizarán las auditorias periódicas previstas en el capítulo IX del Plan de Autoprotección (apartado 6.4.3.1.). En ellas se inspeccionará el estado de la obra civil y, en particular, de las rutas de evacuación, así como el funcionamiento de sus elementos (alumbrado, señalización, puertas, presencia de obstáculos, etc.).

Dichas auditorias se incluirán en los Planes de Inspección anual de la red y se realizarán siguiendo determinados protocolos cuyo contenido se indica en el capítulo IX del Plan de Autoprotección.

Cualquier anomalía que durante la visita se observe en otros elementos o instalaciones del túnel, distintos a los inspeccionados, se notificará a los responsables del mantenimiento para su conocimiento.

### **3.3.4. Comprobaciones en caso de incidente**

Tras producirse un incidente, se realizará una inspección detallada de su posible afección a la obra civil, con objeto de: cuantificar los daños sufridos, definir las reparaciones o sustituciones necesarias y valorar la urgencia de cada una de ellas. En particular, se estudiará la afección a la estructura resistente en casos tales como: impactos, inundaciones, incendios, explosiones, seísmos, movimientos de ladera, etc., valorando si sus consecuencias afectan significativamente o no a las condiciones de explotación del túnel, por si fuera necesario posponer su reentrada en servicio.

Los trabajos anteriores se documentarán adecuadamente y almacenarán junto al resto de información de la obra civil.

## **4. INSTALACIONES FERROVIARIAS**

En este capítulo se recogen aquellas instalaciones de la línea asociadas al funcionamiento, seguridad y control de los trenes durante la explotación, sobre las que es necesario fijar requisitos adicionales en el área de influencia del túnel. Se incluyen: sistema de energía eléctrica de tracción, instalaciones de control de tráfico, comunicaciones y sistemas de detección de incidencias (cajas calientes y caída de objetos en vía) de ayuda a la explotación.

### **4.1. Criterios a tener en cuenta en el proyecto**

Al tratarse de instalaciones asociadas al conjunto de la línea, su proyecto, en la zona de influencia del túnel, se realizará de forma integrada y coordinada con el resto, aplicando criterios análogos, y llevando a cabo las adaptaciones necesarias para incluir los requisitos adicionales de seguridad, que motivados por la presencia del túnel, se recogen en este apartado.

#### **4.1.1. Sistema de energía eléctrica de tracción**

El sistema incluye las subestaciones eléctricas de tracción, la línea aérea de contacto y todos los elementos asociados (feeders, seccionadores, equipos de compensación, telemandos, etc.), necesarios para suministrar energía eléctrica para el funcionamiento de los vehículos de tracción ferroviarios.

Las especificaciones adicionales a aplicar en los túneles cuya longitud supere un cantón de compensación (1.200 m), son las siguientes:

- La sectorización de la catenaria en el túnel, en cantones susceptibles de alimentación y seccionamiento (corte de corriente) independientes, permitirá suministrar, en caso de incidente, energía tracción para la salida de los trenes no afectados.
- Los seccionamientos dispondrán de seccionadores para cortar la corriente de la catenaria, y en su caso, del feeder de acompañamiento, con posibilidad de ser telemandados. El proyectista definirá el número de seccionadores a telemandar, en función de la longitud del túnel y del número y características de los seccionamientos.
- La alimentación de los sistemas de control y accionamiento de los seccionadores será redundante, a través de las fuentes de energía indicadas en el apartado 5.1.2.
- Los aparatos tensores de la catenaria y los seccionadores motorizados no deberán obstaculizar las rutas de evacuación del túnel, ni siquiera en el caso de rotura de los contrapesos, por lo que, en caso necesario, se alojarán en nichos, según lo indicado en el apartado 3.1.2.5.

#### 4.1.2. Instalaciones de control del tráfico

En este apartado se incluyen todas las instalaciones relacionadas con la circulación ferroviaria en condiciones de seguridad: señalización, bloqueos, enclavamientos, ayudas a la conducción, protección de trenes, etc.).

Las especificaciones adicionales a aplicar en la zona de influencia de los túneles, son las siguientes:

- En caso de incidente en un túnel o en sus proximidades, el diseño de las instalaciones permitirá impedir el acceso de otros trenes al lugar del siniestro y alejar a los no implicados directamente en el mismo. Para ello, las señales y los puntos de parada estarán situados a una distancia suficiente de las bocas.
- **La información recogida por los sistemas de detección de caída de objetos a la vía del apartado 4.1.5, instalados en las bocas del túnel, permitirá actuar sobre la señalización, cerrando, en su caso, las señales oportunas, a fin de detener los trenes a una distancia suficiente.**
- Los componentes de estas instalaciones no deberán obstaculizar las rutas de evacuación del túnel, por lo que, en caso necesario, se alojarán en nichos, según lo indicado en el apartado 3.1.2.5.

#### 4.1.3. Comunicaciones ferroviarias

En este apartado se incluyen todas las instalaciones de comunicación entre el conductor del tren y el Centro de Control de Tráfico, mediante sistemas de tren-tierra, radioteléfonos, telefonía móvil GSM-R, etc.

Las especificaciones adicionales a aplicar en la zona de influencia de los túneles, son las siguientes:

- A lo largo de todo el túnel deberán garantizarse las comunicaciones entre el tren y el Centro de Control de Tráfico. Las características operativas del sistema serán análogas a las del resto de la línea.
- En caso de establecerse necesidades específicas de comunicación del maquinista a través de los sistemas de comunicación propios del túnel, descritos en el apartado 5.1.7, los requisitos particulares deberán integrarse y compatibilizarse con aquellos.

- El Centro de Control de Tráfico dispondrá de un sistema de grabación redundante de las comunicaciones, que será de seguridad y no manipulable, y permitirá obtener grabaciones adicionales con carácter de original.

#### **4.1.4. Sistema de detección de cajas calientes**

##### **Definición**

Es una instalación constituida por sensores que detectan la presencia de vehículos ferroviarios emisores de calor, como consecuencia de un engrase insuficiente en los puntos de acople de los ejes, o de una fricción permanente entre freno y rueda.

##### **Objeto**

Detectar y comunicar en tiempo real la presencia de vehículos ferroviarios con emisión de calor en las proximidades de las ruedas, a fin de prevenir posibles incendios.

##### **Ámbito de aplicación**

El sistema no será específico del túnel, sino que se utilizará el existente en la línea.

##### **Características**

- El sistema dispondrá de sensores para medir la temperatura de las cajas de grasa de los ejes de los trenes.
- La información será transmitida al Centro de Control de Tráfico a fin de desencadenar, en cada caso, la correspondiente secuencia de operaciones.
- Este sistema estará integrado con el de señalización y control de tráfico de la línea y situado a una distancia suficiente del túnel para que, en caso de detectarse un vehículo afectado, se puedan tomar medidas para evitar su entrada al mismo.

#### **4.1.5. Sistema de detección de caída de objetos a la vía**

##### **Definición**

Es una instalación constituida por sensores que detectan la presencia de objetos indeseados sobre la vía.

##### **Objeto**

Detectar y comunicar en tiempo real la presencia de dichos objetos, a fin de evitar posibles accidentes.

##### **Ámbito de aplicación**

Se dispondrá en las trincheras de acceso a los túneles de tipo I, o pertenecientes a líneas de  $v > 200$  km/h, cuando por la configuración de aquellas, exista riesgo de caída de objetos a la vía.

## **Características**

- En caso de incidencia, el sistema transmitirá la información a los Centros de Control Técnico y de Tráfico. Desde este último se podrá actuar sobre la señalización, cerrando las señales oportunas y ordenando la parada de los trenes antes de su llegada al lugar del incidente.
- La información del sistema quedará integrada en el panel de mandos e indicaciones del equipamiento del Centro de Control de Tráfico.

### **4.1.6. Requisitos comunes para las instalaciones ferroviarias**

- La toma de tierra de todas las instalaciones será equipotencial.
- Los cables de las instalaciones ferroviarias deberán cumplir los requisitos del apartado 5.1.1.
- La alimentación eléctrica de las instalaciones ferroviarias y, en particular, de los telemandos, deberá garantizarse mediante un sistema de suministro redundante e ininterrumpible, coordinándose las necesidades de este suministro con lo definido en el apartado 5.1.2.
- Además de los cuadros de mando y control locales de las instalaciones ferroviarias, ubicados preferentemente en los locales técnicos, el Centro de Control de Tráfico dispondrá de análogos indicadores donde se recogerá de forma integrada toda la información sobre el estado de funcionamiento, averías y alarmas de los distintos componentes y equipos. Además centralizará todos los telemandos necesarios para el envío de las órdenes de funcionamiento a dichas instalaciones, especialmente, a las de energía de tracción y de señalización.

### **4.2. Aspectos a tener en cuenta durante la explotación**

Todas las instalaciones ferroviarias estarán sometidas al correspondiente Plan de Mantenimiento Preventivo.

## **5. INSTALACIONES GENERALES**

Los equipos e instalaciones de seguridad se caracterizan por su uso esporádico o incluso ausencia de éste, durante su vida útil. Por ello, en su proyecto, construcción, montaje y mantenimiento se deberán cumplir ciertos requisitos para que, llegado el caso, funcionen eficazmente.

### **5.1. Criterios de proyecto**

Análogamente a la obra civil, el proyectista, en función del estudio de riesgos, fijará los criterios de diseño de las instalaciones, que permitan alcanzar el nivel de seguridad de los usuarios requerido durante la explotación. Con ese exclusivo fin, cumplirá aquellas especificaciones fijadas como obligatorias en este capítulo.

Los soportes de los equipos se proyectarán para resistir, además de su propio peso, las acciones dinámicas, propias y externas (p.ej.: paso de trenes), a las que puedan estar sometidos.

Además, para garantizar la correcta explotación de estas instalaciones, el proyecto deberá prever las correspondientes acciones formativas para el personal encargado de su manejo.

#### **5.1.1. Cableado y elementos de protección eléctrica**

##### **Definición**

Conjunto de conductores ópticos o eléctricos, con sus elementos de protección, por los que se transmite energía, señales o datos.

##### **Objeto**

Alimentar e interconectar los equipos de los distintos sistemas para su funcionamiento, incluso en caso de incendio.

##### **Ámbito de aplicación**

La totalidad de las instalaciones del túnel, con excepción de la línea aérea de contacto y del cable radiante de la red de radiocomunicaciones.

##### **Características**

- Los cables instalados a lo largo del núcleo del túnel o en locales técnicos con transformadores, así como los equipos de protección y maniobra irán alojados dentro de canalizaciones cerradas -definidas en el apartado 3.1.2.4-, cajas y armarios, que les protejan de las agresiones externas (fuego, gases calientes, descarrilamientos, actos vandálicos, etc.). Se

exceptúa el cable radiante de radiocomunicaciones que irá colgado en perchas directamente de la pared.

- Los materiales de las canalizaciones, cajas y armarios, deberán soportar una temperatura constante de 500 °C durante al menos 1 h, sin entrar en combustión. En caso contrario deberán ir recubiertos de hormigón.
- Los cables empleados en derivaciones transversales para conexión de equipos (luminarias, ventiladores, etc.), se protegerán (con tubo de acero, rozas, etc.) de eventuales daños mecánicos.
- En galerías de conexión, salidas de emergencia y dependencias anejas que no contengan transformadores, los cables podrán ir al descubierto o con protección ligera, siempre que no exista riesgo de daños mecánicos.
- Todos los cables, además de la normativa que les sea de aplicación, deberán satisfacer los siguientes requisitos mínimos:
  - No propagador de la llama según UNE-EN 50265 y UNE-EN 50266.
  - Libre de halógenos, baja toxicidad y baja corrosibilidad según UNE-EN 50267.
  - Baja emisión de humos según UNE-EN 50268.
  - Aislamiento resistente a la humedad y al calor, para valores nominales de temperatura adecuados a su función, aunque en ningún caso inferiores a 90 °C. En los de conexión a tierra el aislamiento es potestativo.
- Los cables que no dispongan de protección contra el fuego, tanto del túnel principal, como de los locales técnicos que contengan transformadores, deberán ser resistentes al fuego según la norma IEC 60331 (750 °C durante 90 min, bajo tensión nominal).
- La red de transmisión de información de los distintos sistemas será redundante, a fin de aumentar la fiabilidad de su funcionamiento.
- Los elementos de protección frente a sobrecarga de las instalaciones no deberán ser de tipo térmico, a fin de evitar su disparo accidental en caso de incendio.

## **5.1.2. Alimentación eléctrica**

### **Definición**

Conjunto de fuentes de energía eléctrica, tanto externas (de Compañías eléctricas), como propias del túnel (grupos electrógenos, SAIs, etc.).

### **Objeto**

Suministrar energía eléctrica para el funcionamiento de las distintas instalaciones de seguridad. En particular: alumbrado de emergencia, red de tomas de corriente, equipos de bombeo, sistema de comunicaciones de emergencia, sistemas de detección y sistema de ventilación.

### **Ámbito de aplicación**

Todos los túneles de tipo I y II dispondrán de alimentación eléctrica. Además, en los de tipo I, será redundante.

### **Características**

- La alimentación se realizará, en todos los casos, a través de acometida procedente de la red eléctrica.
- La alimentación redundante, en su caso, se realizará a través de una acometida por cada boca del túnel, procedentes de subestaciones transformadoras distintas y, preferentemente, de redes independientes.

Excepcionalmente, se podrá sustituir una de las acometidas por un grupo electrógeno propio, siempre que se garantice su disponibilidad permanente durante la explotación. Su autonomía mínima de funcionamiento a plena potencia será de 24 h.

- Adicionalmente, los túneles con intensidad de tráfico media o superior dispondrán de fuente de energía propia mediante grupo electrógeno. En caso de estación próxima, el uso del grupo será compartido, por lo que dispondrá de potencia suficiente para alimentar el túnel y una parte de las estaciones afectadas por el fallo del suministro eléctrico externo.
- Todos los equipos de mando y control pertenecientes a los sistemas de seguridad del túnel (detección de incendios, redes de teléfonos o radio, etc.), deberán disponer de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI), que aseguren la continuidad del suministro eléctrico. Dichos sistemas dispondrán de baterías sin mantenimiento con autonomía mínima de 20 min y dispositivo de recarga.
- La alimentación garantizará, en cualquier punto del túnel, los niveles operativos mínimos exigidos para los distintos equipos e instalaciones, incluso en condiciones degradadas o de fallo de una de las fuentes de suministro.
- Todos los transformadores y cuadros eléctricos se instalarán, preferentemente, en locales técnicos.

- La concepción de las redes y los equipos cumplirán las normas CEI que les sean aplicables.

### **5.1.3. Alumbrado de emergencia**

#### **Definición**

Es una instalación que asegura un nivel mínimo de iluminación en el túnel en caso de incidente. Está constituida por un alumbrado de emergencia principal (alimentado por Compañías eléctricas y, en su caso, por grupo electrógeno propio) y por un alumbrado de emergencia autónomo (alimentado por baterías).

#### **Objeto**

Facilitar la orientación y evacuación de los pasajeros y los equipos de intervención en caso de emergencia.

#### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en las rutas de evacuación de los túneles de tipo I y II.

#### **Características**

##### **1. Alumbrado de emergencia principal**

- Estará constituido por lámparas de vapor de sodio de baja presión, grado de protección IP-65 (según UNE 20324) y potencia mínima de 35 W, u otras de características lumínicas superiores. Se instalarán al tresbolillo sobre los dos hastiales.
- La separación máxima entre secciones de puntos de luz será de 25 m, colocándose las lámparas a una altura aproximada de 4 m sobre la acera.
- La alimentación se realizará a través de dos líneas eléctricas independientes, una para cada hastial, conectadas a las fuentes de energía indicadas en el apartado 5.1.2.
- En los túneles de intensidad de tráfico media o superior, el alumbrado se conectará además al grupo electrógeno (alumbrado de reemplazamiento), exigido en el apartado 5.1.2.

- Cada línea se dividirá en sectores de longitud máxima 1.000 m, e irá dotada de los elementos de protección necesarios para minimizar los efectos de una avería en la instalación.
- En las bocas del túnel y a lo largo de los hastiales con acera, se instalarán pulsadores para la conexión del alumbrado. En túneles con dos aceras, se colocarán enfrentados. La separación máxima entre ellos será de 200 m, haciéndolos coincidir con secciones del alumbrado de emergencia autónomo.

En el caso de estación próxima, el alumbrado también se podrá conectar desde ésta, ubicando los pulsadores en lugares con presencia de personal que pueda ser avisado en caso de emergencia.

Es conveniente que el alumbrado, si no es de encendido permanente, pueda accionarse desde el Centro de Control Técnico. En ese caso no podrá desconectarse desde otro lugar.

- En las salidas de emergencia, galerías de conexión y locales técnicos, el alumbrado estará constituido por lámparas fluorescentes de 36 W con doble balasto (220/12 V), para su alimentación indistinta a través de la red o, en su defecto, por baterías. Para la tensión de 220 V, se garantizará como mínimo una iluminancia media de 50 lx a nivel del suelo. Su conexión se realizará mediante pulsadores análogos a los del túnel y proyectados con los mismos criterios.

## 2. Alumbrado de emergencia autónomo

- Entrará automáticamente en funcionamiento en cualquier sector, en el que se haya producido una avería o fallo de la alimentación eléctrica del alumbrado de emergencia principal. Se entiende por fallo de la alimentación, el descenso de la tensión por debajo del 70% de su valor nominal.
- Estará constituido por lámparas fluorescentes de 36 W, con grado de protección IP-54 (según UNE 20324), situadas sobre los hastiales con acera.
- La separación máxima entre secciones de puntos de luz, será de 50 m, haciéndolas coincidir con secciones del alumbrado de emergencia principal.

En los túneles con dos aceras, las lámparas se dispondrán al tresbolillo sobre ambos hastiales. En túneles con una única acera, se dispondrán sobre el hastial correspondiente a ésta. La altura de colocación sobre la acera será de 1,2 m, elevándose a 2,5 m si hubiera riesgo de vandalismo.

- La alimentación será por baterías con autonomía mínima de 1 h, independientes para cada fluorescente o centralizadas (SAI), garantizándose, en este último caso, que un accidente no provoque el apagado de los fluorescentes en una longitud superior a **200 m**.
- En las salidas de emergencia, galerías de conexión y locales técnicos, las lámparas de doble balasto del alumbrado de emergencia principal, deberán garantizar, en caso de alimentación por baterías de 12 V, una iluminancia media no inferior a 5 lx al nivel de la solera.
- Los entronques del túnel con las galerías de conexión y con las salidas de emergencia se enmarcarán con tres lámparas fluorescentes de doble balasto análogas a las mencionadas.

#### **5.1.4. Señalización de evacuación**

##### **Definición**

Conjunto de indicaciones fijas para orientación de las personas, colocadas a lo largo de las rutas de evacuación.

##### **Objeto**

Facilitar la orientación y evacuación de las personas, informándoles sobre la dirección a seguir hasta alcanzar zonas seguras.

##### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en las rutas de evacuación de los túneles de tipo I y II.

##### **Características**

- La señalización estará constituida por placas indicativas de la dirección a seguir a lo largo de las rutas de evacuación hasta alcanzar la zona segura más próxima (exterior del túnel, estación o túnel paralelo). Cumplirá la norma UNE 23034.

- La dirección de evacuación debe ser clara, inequívoca y prioritaria sobre todas las demás. Queda terminantemente prohibida cualquier otra indicación de dirección, independientemente de su finalidad.
- La separación máxima entre placas será de 25 m. En el túnel se colocarán enfrentadas sobre ambos hastiales y coincidentes con las correspondientes secciones del alumbrado de emergencia, situándose justo debajo o enfrente de las lámparas, según corresponda, y a una altura aproximada de 1,50 m sobre el nivel de la acera.
- Las señales cumplirán lo indicado en el R.D. 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo (BOE nº 97 de 23 de abril) y en la norma UNE 23035. Sus dimensiones mínimas serán de 594 mm de ancho por 420 mm de alto.
- Los entronques de las salidas de emergencia y galerías de conexión con el túnel se enmarcarán con pintura reflectante y bandas fotoluminiscentes en todo su contorno. Asimismo, se colocará una señal en banderola con su identificación.

#### **5.1.5. Red de tomas de corriente**

##### **Definición**

Instalación eléctrica con tomas de corriente monofásica y trifásica a lo largo del túnel.

##### **Objeto**

Facilitar la actuación de los equipos de intervención, suministrándoles energía eléctrica para herramientas, maquinaria o alumbrado portátil.

##### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en los túneles de tipo I y II.

##### **Características**

- La instalación estará constituida por una línea de alimentación eléctrica (3P+N+T), sus elementos de protección y tomas múltiples de corriente para 220/380 V. Dichas tomas se instalarán al tresbolillo sobre los dos hastiales.
- La separación máxima entre las tomas múltiples de corriente de un mismo hastial será de 250 m.
- Las tomas múltiples de corriente y sus protecciones eléctricas se montarán en cajas que las protejan de los golpes, exigiéndose además que sean IP-54 (según UNE 20324). Cada toma múltiple dispondrá de tres tomas monofásicas y una trifásica. Éstas han de ser normalizadas para el uso de los equipos de intervención.
- La alimentación se realizará a través de dos líneas eléctricas independientes, una para cada hastial, conectadas a las fuentes de energía indicadas en el apartado 5.1.2. Se

garantizará una potencia conjunta de 20 kVA, en dos tomas contiguas correspondientes una a cada hastial, es decir, 10 kVA por toma y línea.

#### **5.1.6. Red de hidrantes**

##### **Definición**

Instalación hidráulica en carga, con hidrantes, para suministro de agua a presión a lo largo del túnel.

##### **Objeto**

Facilitar la actuación de los equipos de intervención, permitiendo la conexión de mangueras y suministro de agua dentro del túnel para la extinción de incendios, dilución de líquidos vertidos, etc.

##### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en los túneles de tipo I.

##### **Características**

- La instalación constará de una tubería de distribución de agua con hidrantes normalizados de dos bocas, situada preferentemente bajo una de las aceras.
- La separación máxima entre hidrantes será de 125 m.
- Cada hidrante suministrará un caudal mínimo de 1.000 l/min (500 l/min/boca) durante 1 h con una presión dinámica de 6 bar, incluso en el caso de apertura simultánea de dos hidrantes contiguos.
- En túneles de doble tubo, las tuberías de distribución se colocarán, preferentemente, en el hastial más próximo al tubo contiguo, conectándolas cada cierta distancia para crear una red mallada de mayor fiabilidad.
- La tubería se alimentará por ambos extremos del túnel mediante acometidas externas que garanticen el caudal, presión y volumen necesarios. En redes malladas es suficiente con una acometida única.
- Se dispondrán llaves de corte manuales o teledirigidas para aislar eventuales roturas de la tubería y mantener el suministro de agua a los hidrantes.
- En el caso de presión insuficiente, se proyectarán equipos de bombeo, con bombas de reserva, en previsión de fallo de alguna de ellas.
- Las características de los cuadros eléctricos, la integración de la información en el Centro de Control Técnico y la alimentación eléctrica de las bombas serán análogos a los indicados en el apartado 5.1.11.

- Cuando una acometida no pueda suministrar el caudal necesario durante el tiempo requerido, se proyectará un depósito con capacidad mínima útil de 120 m<sup>3</sup>, dotado de control permanente de nivel y conectado con el sistema informático de gestión centralizada de operaciones. Esta reserva de agua deberá estar disponible mientras el túnel esté en servicio.

Preferentemente, el llenado de estos depósitos sea automático y a través de acometidas protegidas contra la helada.

- En cada boca del túnel la tubería de distribución dispondrá de un hidrante con dos bocas de salida de 70 mm de diámetro, para eventual suministro de agua mediante vehículo autobomba.
- Cuando la temperatura pueda bajar de 0 °C, las tuberías de agua y demás elementos se proyectarán de forma que el agua no llegue a congelarse.
- El proyectista analizará la necesidad de instalar o no un sistema de rociadores o de agua pulverizada, especialmente en zonas donde el colapso de la estructura pueda generar riesgos importantes para el propio túnel o estructuras próximas. Estos sistemas no estarán diseñados para extinguir incendios. Su puesta en marcha nunca será automática, sino que se realizará manualmente desde el Centro de Control Técnico, mediante el accionamiento de las válvulas que permitan activar estos sistemas por sectores, así como graduar su caudal, una vez realizadas las comprobaciones necesarias.

En estos casos, el proyectista deberá prever el suministro de agua necesario para su funcionamiento.

- Los equipos deberán cumplir el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RD 1942/93 de 5 de Noviembre).
- Los componentes de la instalación, incluyendo las tuberías de los túneles, deberán pintarse de rojo y señalarse debidamente, según UNE 1-115, referente a colores y señales de seguridad.

### **5.1.7. Sistema de comunicaciones de emergencia**

#### **Definición**

Conjunto de instalaciones y redes de comunicación entre el túnel y el exterior especialmente concebidas para transmitir mensajes de alerta y alarma y comunicar con el centro de control, en situaciones de riesgo o emergencia. Está integrado por una red telefónica interna y por una red de radiocomunicaciones para uso exclusivo de los servicios de intervención.

#### **Objeto**

La red telefónica interna permite la comunicación, en caso de incidencia, entre el túnel y los Centros de Control de Tráfico y Operativo. La red de radiocomunicaciones facilita la

comunicación, dentro y fuera del túnel, entre los distintos servicios de intervención, los agentes de la explotación y los trenes.

### **Ámbito de aplicación**

La red telefónica interna se instalará en los túneles de tipo I y en los de tipo II de longitud superior a 2.000 m; la de radiocomunicaciones únicamente en los de tipo I.

### **Características**

#### **1. Red telefónica interna**

- Estará constituida por los teléfonos de emergencia, las líneas de comunicación y las unidades centrales de escucha y contestación situadas en los Centros de Control (Técnico, de Tráfico y Operativo).
- Los teléfonos de emergencia se situarán a lo largo de las rutas de evacuación y respetando el ancho mínimo de éstas. En concreto:
  - Sobre los hastiales que dispongan de acera. En túneles con dos aceras se colocarán enfrentados. La separación máxima entre teléfonos será de 200 m.
  - Sobre el hastial situado junto a las puertas de acceso a las salidas de emergencia.
  - En el extremo final de las salidas de emergencia, antes de la puerta de acceso al exterior.
  - En las bocas del túnel, sobre los hastiales con acera.
- Los teléfonos de emergencia se señalarán adecuadamente, pudiendo utilizarse la misma simbología y materiales empleados en los puestos SOS de túneles de carretera.
- Los teléfonos de emergencia serán de fácil manejo. Dispondrán de un pulsador que una vez accionado activará una señal acústica de aviso en las unidades centrales de escucha y contestación, indicando la ubicación del teléfono accionado y estableciendo el contacto.
- El sistema estará autotestado, a fin de localizar rápidamente cualquier avería.
- La instalación deberá garantizar la comunicación con los Centros del Control, incluso en caso de avería de la línea en algún punto (interrupción de un conductor, cortocircuito, etc.).

#### **2. Red de radiocomunicaciones**

- Estará constituida por un sistema de cable radiante o por antenas direccionales adecuadas a las bandas de frecuencia previstas. El cable radiante, en su caso, se dispondrá según el apartado 3.1.2.5, y en caso de rotura en un punto, se garantizará la cobertura a una distancia máxima de 300 m a cada lado.

- Deberá ser multicanal y operar en las bandas de frecuencia utilizadas por los servicios de intervención.

### **5.1.8. Sistema de detección de incendios**

#### **Definición**

Es una instalación constituida por sensores que controlan magnitudes físicas o químicas asociadas a un incendio (temperatura, ionización del aire, dispersión o atenuación de la luz, etc.) enviando la información a un equipo de control (central de detección).

#### **Objeto**

Detectar y comunicar rápidamente la presencia y localización de un incendio para extinguirlo antes de su desarrollo y propagación.

#### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en los túneles urbanos de tipo I.

También se instalará en las dependencias anejas (subestaciones de energía eléctrica de tracción, locales técnicos, estaciones de ventilación, etc.), con riesgo de incendio por el tipo de materiales o equipos que contengan. En particular, en los locales técnicos donde se ubiquen equipos eléctricos y electrónicos.

#### **Características**

- En general, la instalación estará constituida por una combinación de detectores, térmicos y/o de humo, de tipo analógico (variaciones puntuales de magnitudes), conectados con las centrales de detección correspondientes, las cuales procesarán y enviarán a su vez los datos al Centro de Control Técnico. Se admiten otras soluciones, siempre que se mantengan la funcionalidad y prestaciones del sistema.
- Las centrales de detección se situarán, preferentemente, fuera del túnel principal, es decir, en locales técnicos, galerías de conexión, etc.
- A lo largo del túnel, el sistema de detección permitirá localizar la posición de un incendio con un error máximo de 50 m.
- El sistema será inmune a las perturbaciones electromagnéticas y estará autotestado, a fin de localizar rápidamente cualquier avería que se produzca. Además, permitirá verificar las medidas realizadas mediante sistemas de control redundantes.
- En caso de incendio, el detector afectado enviará una señal individualizada a su central de detección, que verificará la información recibida y la comparará con los niveles de aviso (prealarma) y alarma (en cuanto a temperatura, visibilidad, etc.) prefijados al sistema. En caso de superarlos, lo comunicará al Centro de Control Técnico, activando los indicadores ópticos y acústicos que permitan localizar la posición del detector activado. Las señales de

avería e incendio se evaluarán por separado. En caso de concurrencia de señales, la central dará prioridad a la más importante.

- Todo el sistema, así como los materiales, equipos y componentes utilizados, cumplirán el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RD 1942/93 de 5 de Noviembre) y la UNE 23007, en particular, lo referente a equipos de señalización y control. Así pues, deberán disponer de las correspondientes marcas de conformidad a normas emitidas por un organismo de normalización y certificación oficialmente reconocido.
- El sistema de detección de incendios estará conectado con el Centro de Control Técnico e integrado en su sistema informático de gestión centralizada de operaciones.

### **5.1.9. Sistema de detección de gases**

#### **Definición**

Es una instalación constituida por distintos tipos de sensores que detectan la presencia en el túnel de gases potencialmente peligrosos para la salud y la seguridad (tóxicos, inflamables o explosivos).

#### **Objeto**

Detectar, medir y comunicar los niveles de concentración de gases nocivos, al objeto de desencadenar las medidas de seguridad previstas en el Plan de Autoprotección.

#### **Ámbito de aplicación**

La necesidad de instalar o no un sistema de detección de gases peligrosos se analizará, para cada túnel, en función de sus características (perfil longitudinal, longitud y intensidad de tráfico), del tipo de tracción y de las mercancías susceptibles de transitar por él.

#### **Características**

- El proyectista definirá los tipos de sensores a colocar en función de los gases nocivos que puedan presentarse en el túnel (CO, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, HCl, CO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, metano, butano, propano, etc.), así como su ubicación (puntos altos y bajos del perfil longitudinal, separación, etc.) y altura de colocación (función de la densidad del gas a medir).
- Dichos detectores estarán conectados con las centrales de detección correspondientes, a las cuales enviarán información que, una vez procesada, se comunicará al Centro de Control Técnico.
- Las centrales de detección se situarán, preferentemente, fuera del túnel principal, es decir, en locales técnicos, galerías de conexión, etc.
- Se establecerán las concentraciones máximas admisibles para cada gas, que en caso de superarse, activarán los indicadores ópticos y acústicos de aviso y alarma instalados en el Centro de Control Técnico, con el fin de desencadenar las medidas de seguridad previstas

en el Plan de Autoprotección (puesta en marcha de la ventilación, interrupción del tráfico, etc.).

- El sistema será inmune a las perturbaciones electromagnéticas y estará autotestado, con el fin de localizar rápidamente cualquier avería que se produzca. Además, permitirá verificar las medidas realizadas mediante sistemas de control redundantes.
- El sistema de detección de gases estará conectado con el Centro de Control Técnico e integrado en su sistema informático de gestión centralizada de operaciones.

#### **5.1.10. Sistema antiintrusión**

##### **Definición**

Es un sistema de vigilancia perimetral, con grabación de eventos asociados, para el control de los accesos al interior del túnel y dependencias anejas.

##### **Objeto**

Detectar y comunicar en tiempo real el acceso de intrusos al túnel, evitando posibles accidentes, sabotajes o actos vandálicos causados por éstos.

##### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en todos los accesos (boquillas o salidas de emergencia) a los túneles con intensidad de tráfico media o superior. En el resto se analizará la necesidad de instalarlo o no.

##### **Características**

- Constará de: sistema de detección de presencia y videocámaras de vigilancia con sistema de grabación. Todas las instalaciones estarán conectadas a una Unidad de Control que procesará los datos y los enviará al Centro de Control Técnico, que a su vez podrá remitirlos al Centro de Control de Tráfico.
- El sistema de detección de presencia estará constituido por detectores de barrera o volumétricos de tecnología dual (microonda e infrarrojo). Su diseño evitará sabotajes por: fuentes infrarrojas externas, manipulación de sensores, intento de localización de haces o intento de paso por encima. Dispondrá de un dispositivo de autocomprobación de su funcionamiento, con señal de aviso, para los casos de recepción defectuosa en el receptor (debido a niebla, suciedad, etc.).
- El sistema permitirá discriminar el paso de los trenes por las bocas e incluirá dispositivos de reconocimiento de acceso a personas autorizadas, con objeto de evitar falsas alarmas.
- Las videocámaras de vigilancia serán de alta resolución, en color y con ópticas auto-iris. Deberán operar con un nivel mínimo de iluminación de 2 lx. Dispondrán de una carcasa antivandálica de protección con parasol y calefactor. Se instalarán preferentemente a una altura mínima de 3,5 m sobre el suelo.

- En caso de intrusión o intento de sabotaje, el detector correspondiente enviará una señal a la unidad de control, que pasará del estado de reposo al de alarma y pondrá en marcha el sistema de grabación a través de las videocámaras.
- El sistema antiintrusión estará conectado con el Centro de Control Técnico e integrado en su sistema informático de gestión centralizada de operaciones.

#### **5.1.11. Sistema de bombeo de drenajes y vertidos**

##### **Definición**

Es una instalación constituida por un conjunto de equipos de bombeo, con su correspondiente sistema de tuberías, para la impulsión de los líquidos acumulados en puntos bajos del túnel, desde un pozo de bombeo, hasta el exterior o hasta un punto intermedio a partir del cual puedan discurrir por gravedad, para su vertido, o recogida y tratamiento de aquellos, que por exigencias de seguridad o medioambientales, lo requieran.

##### **Objeto**

Evacuar las aguas, de infiltración o escorrentía, y los posibles vertidos líquidos (agua para la extinción de incendios, vertidos accidentales de los trenes, etc.) acumulados en puntos bajos del túnel.

##### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en todos los túneles con puntos bajos en su interior.

##### **Características**

###### **1. Equipos de bombeo**

- Los caudales y tipos de fluido a considerar en el proyecto de los equipos de bombeo serán los indicados en el apartado 3.1.2.3.

En general, en los pozos de bombeo y depósitos, se proyectarán bombas adecuadas para los vertidos cotidianos (agua de infiltración, escorrentía, limpieza, etc.). Los vertidos ocasionales se retirarán por personal especializado de los servicios de intervención, utilizando bombas específicas para el tipo de fluido (corrosivo, inflamable, denso, etc.).

- Además de las bombas necesarias para evacuar los caudales de proyecto, se incluirán bombas de reserva en previsión de avería de alguna de ellas, especialmente en túneles bajo el nivel freático.
- El funcionamiento de las bombas, incluidas las de reserva, será rotativo y con arranques escalonados en función del nivel de líquido en el pozo, sin superar los 10 arranques/hora por bomba en los escenarios más desfavorables.
- Las bombas serán de tipo sumergible, de bajo mantenimiento y diseñadas para el manejo de líquidos con impurezas sólidas (arena, papeles, etc.).

- En los pozos de bombeo (apartado 3.1.7), donde el funcionamiento de las bombas es automático, la puesta en marcha o parada de éstas se realizará a través de reguladores de nivel conectados con el cuadro eléctrico. Dichos reguladores serán autolimpiables y de bajo mantenimiento.
- En los depósitos de recogida de vertidos (apartado 3.1.7), donde el funcionamiento de las bombas es manual, la puesta en marcha o parada de éstas se realizará a través de un telemando instalado en el Centro de Control Técnico, el cual recibirá información sobre el nivel del líquido en el depósito. Para ello, cada depósito deberá disponer de sondas de nivel a distintas alturas.
- Los cuadros eléctricos de mando local y protección de las bombas estarán situados en lugares no inundables, conectados con el Centro de Control Técnico, e integrados en su sistema informatizado de gestión centralizada de operaciones, al que transmitirán información sobre su estado de funcionamiento y averías, y del que recibirán las órdenes para su funcionamiento.
- Cada cuadro eléctrico de mando local y protección de las bombas dispondrá de:
  - Interruptores de arranque y parada de cada bomba.
  - Información del estado de funcionamiento, parada o alarma de las bombas.
  - Dos conexiones de reserva para bombas adicionales (limpieza de lodos, bombeo auxiliar, recogida de vertidos, etc.).
  - Enchufe trifásico para la conexión de herramientas o máquinas utilizadas en labores de mantenimiento.
  - Alarma acústica y visual de parada de bombas, conectada con el Centro de Control Técnico.
  - Alarma acústica y visual de máximo nivel en el pozo de bombeo, conectada con el Centro de Control Técnico.
- La alimentación eléctrica de las bombas se realizará a través de las fuentes de energía indicadas en el apartado 5.1.2. En cualquier caso deberá existir suministro alternativo mediante grupo electrógeno con autonomía mínima de 10 h.

## 2. Tuberías

- Las tuberías de bombeo de los líquidos al exterior deberán ser de acero u otro material no sensible al fuego.
- A la salida de cada bomba, se instalarán dos válvulas, una de retención y otra de compuerta, con objeto de impedir el retorno de los líquidos bombeados, así como el aislamiento y desmontaje de la bomba en caso de avería.

- En los puntos altos y bajos de las tuberías se instalarán, respectivamente, purgadores de aire y registros para su limpieza.

### 3. Sala de bombeo

- Las estancias situadas en el nivel superior del pozo o depósito, si están aisladas del túnel, cumplirán los requisitos del apartado 5.1.13 para los locales técnicos. Si se trata de meros ensanches del túnel, bastará con asegurar su iluminación, la no acumulación de gases y la presencia de extintores.

## **5.1.12. Sistema de ventilación**

### **Definición**

Es un sistema de renovación de aire, natural o forzado, que permite introducir aire fresco y extraer aire viciado del interior del túnel, tanto en condiciones normales como de emergencia.

### **Objeto**

Garantizar unas condiciones mínimas del aire en el túnel que lo hagan respirable y que permitan cierta visibilidad, tanto en condiciones normales de explotación, como durante el tiempo necesario para la evacuación, en caso de incendio o fuga de gases tóxicos.

### **Ámbito de aplicación**

Todos los túneles deberán tener su correspondiente estudio de ventilación.

En las rutas de evacuación de los túneles de tipo I se instalará un sistema de ventilación forzada para un mayor control del movimiento del aire en su interior.

También se instalará ventilación forzada en los refugios y en los locales técnicos donde se ubiquen baterías u otros materiales que puedan desprender hidrógeno o gases peligrosos. Sus características se recogen en el apartado 5.1.13.

### **Criterios de proyecto**

- El sistema deberá garantizar unas condiciones mínimas del aire en el interior del túnel, tanto en situación normal, como de emergencia (incendio o fuga de gases tóxicos), caracterizadas por las siguientes limitaciones:

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CONDICIONES NORMALES (VALORES MÁXIMOS)</b>	<b>SITUACIÓN DE EMERGENCIA (VALORES MÁXIMOS)</b>
Contenido de CO	50 ppm (valor medio en un intervalo de 30 min)	Se cumplirá la limitación: $\sum_{i=1}^n CO_i^{1,036} * t_i < 3 \cdot 10^4$ (CO <sub>i</sub> es la concentración, en %, en el intervalo de tiempo t <sub>i</sub> ) $\left( \sum_{i=1}^n t_i = \text{tiempo total de exposición, en minutos} \right)$
Contenido medio en NOx	0,4 ppm	----

(en un intervalo de 1 h)		
Coefficiente de extinción (k) (partículas negras)	0,005 m <sup>-1</sup>	0,4 m <sup>-1</sup>
Temperatura del aire	40 °C	60 °C
Velocidad del aire	10 m/s	10 m/s

### Cuadro 5.1.12.I.- Características mínimas del aire en condiciones normales y de emergencia.

- Para cada escenario de incendio o fuga de gases tóxicos en el túnel, se definirá la estrategia de actuación más adecuada: arrastre y dilución de los humos y gases, o confinamiento y estratificación<sup>2</sup> de éstos.

El sistema se dimensionará para que, en el escenario más desfavorable de incendio, a lo largo de la ruta de evacuación seleccionada y durante el tiempo necesario para alcanzar una zona segura (considerando un mínimo de 30 min), las condiciones del aire cumplan las limitaciones del cuadro 5.1.12.I.

En las fugas de gases tóxicos, el sistema deberá mantener la ruta de evacuación libre de ellos.

- El proyectista, en función del tipo de tráfico, fijará las características del incendio con el que proyectar el sistema de ventilación. A falta de datos más precisos, utilizará los valores indicados en el Cuadro 5.1.12.II. En ningún caso proyectará con incendios de potencia calorífica inferior a 30 MW.

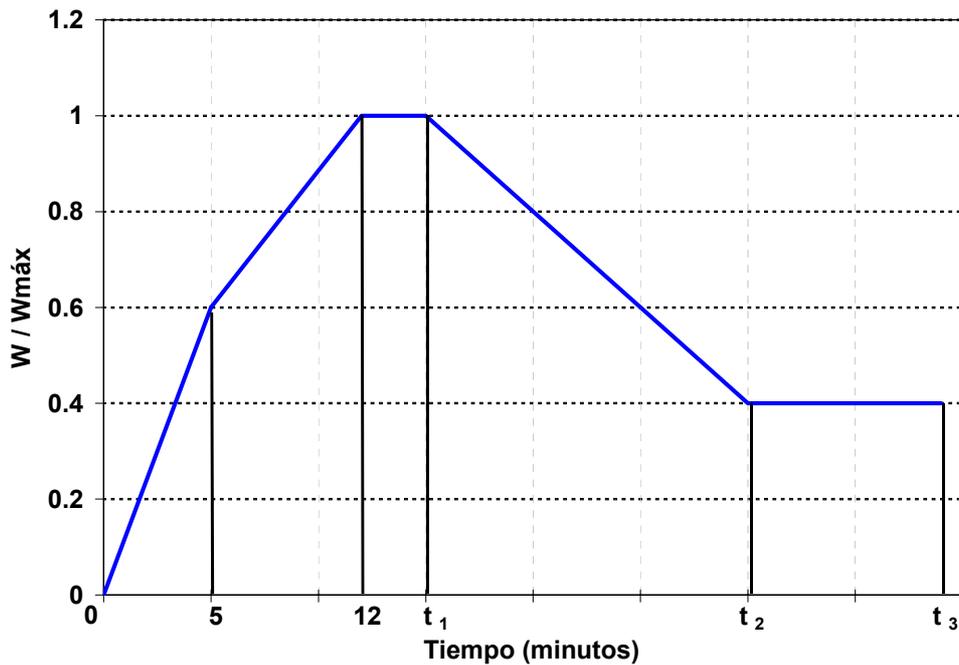
TIPO DE VEHÍCULO INCENDIADO	POTENCIA MÁX. DEL INCENDIO (MW)	DURACIÓN DEL INCENDIO (horas)	CAUDAL DE HUMOS PRODUCIDOS (m <sup>3</sup> /s)
Locomotora eléctrica o coche de viajeros	15	1	60
Locomotora Diesel o vagón de mercancías	30	2	80
Vagón de mercancías peligrosas	300	4	460

### Cuadro 5.1.12.II.- Parámetros para caracterización de incendios.

- Se analizará la conveniencia de proyectar chimeneas o pozos de ventilación para la impulsión o extracción directa de humos o gases al exterior, verificando que no se producen recirculaciones del aire viciado entre ellas o con las bocas (p.ej.: alejándolas o colocando dispositivos separadores).

<sup>2</sup> Si no existe corriente de aire en el túnel, los humos tienden a desplazarse por el techo (estratificación), hasta que se enfrían, y caen al suelo (por aumento de su densidad). Así, inicialmente, se mantiene un colchón de aire limpio en la parte baja del túnel, que debe ser aprovechado por los usuarios para alcanzar zonas seguras. Posteriormente los humos se abaten ocupando toda la sección del túnel y haciendo irrespirable la atmósfera. En cualquier caso, pasados los primeros 5 o 10 min de desarrollo de un incendio, es prácticamente imposible el control de los humos.

- Se utilizarán modelos numéricos de dinámica de fluidos en régimen transitorio, en los que el túnel, las galerías de evacuación, las chimeneas y los pozos de ventilación afectados, se asimilarán a una malla de tuberías. Se admite el uso de modelos unidimensionales.
- En el caso de explotación a alta velocidad, se considerarán los efectos de compresibilidad del aire.
- El proyectista deberá realizar un estudio paramétrico con distintas hipótesis de:
  - Posición del incendio y rutas de evacuación a utilizar.
  - Diferencia de presión entre bocas.-
  - Condiciones de funcionamiento del sistema de ventilación al inicio del incendio.
- En el foco del incendio, los volúmenes de emisión de CO y de partículas negras (hollín), así como las potencias caloríficas (proporcionales a los incrementos de temperatura) transmitidas al aire y transportadas por éste, puede suponerse que siguen una curva de variación con el tiempo semejante a la de la figura 5.1.12, con los tiempos característicos del Cuadro 5.1.12.III. A falta de datos más precisos, se puede estimar que:
  - La emisión de CO es la correspondiente a una concentración de 500 p.p.m. en el volumen total de humos producidos.
  - La emisión de partículas negras (opacidad) es la correspondiente a un coeficiente de extinción  $k = 3 \text{ m}^{-1}$ .
  - El incremento de temperatura del aire es el correspondiente a una potencia calorífica igual a 2/3 de la del incendio. Se supone que el tercio restante se emplea en calentar la estructura del túnel, por lo que el modelo deberá considerar las pérdidas de calor por convección y radiación a través de los hastiales.
- Para cada hipótesis, el modelo deberá cuantificar, en cada instante de tiempo y a lo largo del túnel, la velocidad del aire, los niveles de concentración de CO y de partículas negras y el incremento de temperatura.



**Figura 5.1.12.- Curva paramétrica de evolución de la potencia (W) de un incendio.**

POTENCIA MÁXIMA DEL INCENDIO (MW)	TIEMPOS CARACTERÍSTICOS (minutos)		
	$t_1$	$t_2$	$t_3$
15	18	30	60
30	30	60	120
300	240	--	--

**Cuadro 5.1.12.III.- Tiempos característicos de la curva paramétrica de evolución de un incendio.**

**Características**

- A partir de los cálculos anteriores, el proyectista definirá el sistema de ventilación más idóneo; el tipo y caudal de los ventiladores; su ubicación, etc.
- Los túneles con ventilación forzada dispondrán de estaciones meteorológicas en ambas bocas, para medir la pluviometría, temperatura y presión del aire exterior, así como, de anemómetros para medir la velocidad y dirección del flujo de aire en el interior.
- En túneles bitubo, la ventilación deberá impedir, en caso de incendio, el paso de humos de un tubo al otro, a través de las bocas o de las galerías de conexión (utilizando sobrepresiones, trampillas para cierre de conductos, ventilación reversible, etc.).

- Los ventiladores serán reversibles para, en función del escenario, impulsar o extraer aire a pleno rendimiento. Sometidos a una atmósfera de 400 °C, aportarán el caudal y la velocidad requeridos, como mínimo durante 1h, en ventiladores axiales y durante 2h, en aceleradores.
- Todos los elementos del sistema de ventilación deberán ser capaces de soportar, además de su peso, las rápidas y frecuentes variaciones de presión generadas por el paso de los trenes, así como las presiones dinámicas del aire durante su funcionamiento.
- La alimentación de los ventiladores será redundante, a través de las fuentes de energía indicadas en el apartado 5.1.2 y **con grupos de transformación a baja tensión independientes**. Dichas líneas dispondrán de los elementos de protección necesarios para minimizar los efectos de una avería en el funcionamiento de la instalación.
- Los cuadros eléctricos de mando local de los motores, con los arrancadores y dispositivos de protección, se colocarán, preferentemente, fuera del túnel, es decir, en locales técnicos, galerías de conexión, etc. Transmitirán la información sobre su estado de funcionamiento (incluidas vibraciones) y averías al Centro de Control Técnico, del que a su vez recibirán órdenes telemandadas para su funcionamiento.
- El sistema informático de gestión centralizada de operaciones, ubicado en el Centro de Control Técnico, permitirá ordenar la transición automática del modo de funcionamiento normal al de emergencia, fijando las condiciones de funcionamiento de los ventiladores en función de la ventilación natural (contrapresiones, etc.), de la posición del incendio y de la situación de partida de los ventiladores. El sistema garantizará la transición del modo de funcionamiento normal al de emergencia en un tiempo máximo de 3 minutos.

### **5.1.13. Elementos de seguridad en Locales Técnicos**

#### **Definición**

Conjunto de instalaciones y equipamientos para garantizar la seguridad en los locales técnicos.

#### **Objeto**

Proteger las instalaciones ubicadas en los locales técnicos y, en particular, las relacionadas con la seguridad del túnel, evitando que queden fuera de servicio en caso de incidente.

#### **Ámbito de aplicación**

Cualquier tipo de local técnico.

#### **Características**

1. Cableado
- Deberá cumplir los requisitos establecidos en el apartado 5.1.1 para los locales técnicos.
2. Alumbrado de emergencia

- Deberá cumplir los requisitos establecidos en el apartado 5.1.3 para los locales técnicos.
3. Sistema de detección de incendios.
- Se instalará en locales con riesgo de incendio por el tipo de materiales o equipos que contengan, en particular, aquellos con equipos eléctricos y electrónicos.
  - La instalación deberá cumplir los requisitos del apartado 5.1.8 que sean de aplicación a los locales técnicos.
  - En locales con equipos de corrientes débiles el sistema activará, en caso de incendio, un sistema automático de extinción sin necesidad de confirmarse aquél.
4. Extinción de incendios
- Los locales técnicos dispondrán de extintores manuales, tanto de polvo polivalente de 6 kg. de carga extintora, con botellín interior y eficacia mínima de 27A-233B, como de CO2 de eficacia mínima 89B.
  - En locales con sistema automático de extinción, éste será controlado a través del sistema de detección. La extinción se realizará preferentemente con un sistema de agua pulverizada, que cumplirá las normas UNE 23501 a UNE 23507, o nebulizada.
5. Ventilación
- En los locales técnicos donde se ubiquen baterías u otros materiales que puedan desprender hidrógeno o gases peligrosos, se instalará un sistema de ventilación forzada, que producirá un mínimo de 12 renovaciones/hora, durante al menos 2 horas.
  - En túneles de doble tubo, la ventilación de los locales técnicos estará diseñada para que en caso de incendio en un tubo, los humos no puedan pasar al otro tubo a través del local técnico (analizando soluciones como: trampillas para cierre de conductos, ventilación reversible, sobrepresión de aire, etc.).

#### **5.1.14. Centro de Control Técnico (CCT)**

##### **Definición**

Dependencia donde se centralizan las señales de funcionamiento y alarma de las instalaciones del túnel así como sus elementos de control, permitiendo actuar en caso de emergencia.

##### **Objeto**

1. Recoger y supervisar la información monitorizada sobre el estado del túnel y sus instalaciones, detectando cualquier anomalía que se produzca.
2. Comunicar al Centro de Control de Tráfico las incidencias relevantes que puedan afectar a la explotación.
3. Manejar y controlar el funcionamiento de las instalaciones no ferroviarias.

4. Posibilidad de actuar, en su caso, como centro de toma de decisiones en situación de emergencia.

### **Ámbito de aplicación**

Se instalará en los túneles tipo I, aunque podrá compartirse para varios túneles.

### **Características**

- Se situará, preferentemente, en el exterior del túnel y podrá ubicarse como anejo del Centro de Control de Tráfico.
- Deberá contar con presencia permanente de personal capacitado.
- Recibirá y contrastará, en su caso, la información relativa a:

Situación e incidencias en el interior del túnel, sus accesos y las dependencias anejas. En particular: climatología externa (lluvias torrenciales, nevadas, vientos huracanados, etc.), velocidad de la corriente de aire en el túnel, control de accesos, etc.

Estado operativo y de funcionamiento de los equipos y sistemas no ferroviarios:

- Situaciones de encendido/ apagado (sectores de alumbrado), arranque/ parada (bombas, ventiladores, etc.), consumo/ no consumo (red de tomas de corriente, red de hidrantes, etc.), activo/ no activo (detectores, videocámaras de vigilancia, etc.), modos de funcionamiento de cada ventilador, etc.
- Niveles de vibración en los ventiladores.
- Estado de los elementos de protección de líneas eléctricas, etc.
- Niveles de líquido en pozos de bombeo y depósitos de agua.

Averías en equipos o sistemas:

- Fallos en detectores.
- Falta de tensión de alimentación.
- Fallos (de arranque, etc.) en motores.
- Temperatura alta o presión baja en motores.
- Cortocircuitos en las líneas, etc.

Alarmas en equipos, instalaciones o sistemas:

- Detección de incendios o gases.
- Detección de intrusos.

- Intentos de sabotaje en equipos (detectores de presencia, etc.).
- Nivel máximo en pozos de bombeo.

Datos del tráfico en el entorno del túnel. Para ello dispondrá de un terminal de visualización simultánea conectado con el Centro de Control de Tráfico, en el que se reflejarán los datos más relevantes sobre la situación del tráfico y las características de cada tren (composición, mercancías transportadas, etc.). También incluirá información sobre incidencias detectadas por los sistemas de seguridad ferroviarios (paradas de trenes, detección de cajas calientes, impactos en vía, interacción pantógrafo catenaria, gálibo, caída de objetos a la vía, etc.).

- Manejará y controlará el funcionamiento de las instalaciones no ferroviarias del túnel (alumbrado, ventilación, sistemas de rociado y agua pulverizada, red de hidrantes, equipos de bombeo, apertura y cierre de puertas, videocámaras de vigilancia, megafonía, etc.) incluso en condiciones degradadas, lo que requiere el aislamiento de los sistemas averiados y la activación de funciones redundantes. El control desde el Centro de Control de Tráfico predominará sobre los controles locales, aunque será posible operar desde éstos en caso de que el primero quede inoperativo.
- Estas funciones de supervisión y control de instalaciones se realizarán mediante un sistema informatizado de gestión centralizada de operaciones, tipo SCADA (*Surveillance, Control And Data Acquisition*), que facilite la toma de decisiones. Éste ha de ser fiable y de fácil manejo. Dispondrá de servidores redundantes con sistema de almacenamiento de datos de gran capacidad que permitan conservar los registros cronológicos de éstos.

El sistema dispondrá de terminales informáticos donde:

- Se monitorizará el estado de las instalaciones y equipos.
- Se activarán las prealarmas y alarmas ópticas y acústicas que procedan, al superarse los niveles de aviso y alarma programados en el sistema para los parámetros más relevantes.
- Para cada escenario posible, propondrá las pautas de actuación más idóneas en cuanto al funcionamiento de las instalaciones, pudiendo acometerlas directamente en caso necesario.
- Se darán las órdenes de funcionamiento (telemando) a las distintas instalaciones y sistemas.
- Los Centros de Control Técnico y de Tráfico tendrán asegurada la comunicación directa e inmediata entre sí, así como con el interior del túnel y con los servicios de intervención. Dispondrán de un sistema de grabación redundante de las comunicaciones vía teléfono o

radio, que será de seguridad y no manipulable, y permitirá obtener grabaciones adicionales con carácter de original.

- El Centro de Control Técnico dispondrá de: alimentación eléctrica procedente de fuente de energía propia, mediante grupo electrógeno, así como Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).
- El Centro de Control Técnico ha de disponer de equipos de detección y extinción manual (extintores y BIE's) y automática de incendios. Los extintores cumplirán lo indicado en el apartado 5.1.13.

### **5.1.15. Cuadro resumen de instalaciones mínimas exigibles**

INSTALACIÓN	TIPO DE TÚNEL		
	III	II	I
Alimentación redundante (acometida independiente por cada boca)	---	---	SI
Grupo electrógeno	---	SI(*)	SI(*)
Alumbrado de emergencia	---	SI	SI
Señalización de evacuación	---	SI	SI
Red de tomas de corriente	---	SI	SI
Red de hidrantes	---	--	SI
Red telefónica interna	---	SI(**)	SI
Red de radiocomunicaciones	---	---	SI
Sistema de detección de incendios	---	---	SI
Sistema de detección de gases	A analizar	A analizar	A analizar
Sistema antiintrusión	---	SI(*)	SI(*)
Bombeo de vertidos			
Sistema de ventilación forzada	---	---	SI
Centro Control Técnico	---	---	SI

(\*) Salvo los de baja intensidad de tráfico

(\*\*) Salvo los de L<2.000 m

## **5.2. Aspectos a tener en cuenta durante el montaje.**

La obra civil y las instalaciones del túnel constituyen un sistema interrelacionado, cuyo funcionamiento armónico debe ser un objetivo permanente durante el proceso constructivo.

Se garantizará que durante el montaje de las instalaciones no se reducen, en ningún caso, los niveles de seguridad adoptados en el proyecto. En consecuencia, no se realizarán modificaciones de ningún componente de las instalaciones, que afecten negativamente a la seguridad o funcionalidad del túnel, o que incrementen significativamente los costes de otras instalaciones o del mantenimiento.

### **5.2.1. Memoria de construcción**

- Antes de iniciarse el montaje de cualquier instalación, el Constructor entregará al Director Facultativo de las obras una Memoria de Construcción, conteniendo:
  - Descripción detallada del proceso de montaje, fases, elementos y actividades accesorias, etc.
  - Esquema de funcionamiento.
  - Planos de la instalación, sus componentes y detalles constructivos.
  - Información técnica de los distintos componentes, equipos o sistemas, especificando para cada uno: marca, modelo, características técnicas nominales proporcionadas por el fabricante y normativa que cumple.
  - Cálculos estructurales de los elementos accesorios de la instalación (soportes, cimentaciones, etc.).
  - Instrucciones de montaje y operación de los equipos con funcionamiento independiente.
  - Plan de seguridad y salud a aplicar durante el montaje.
  - Plan de Control de Calidad de la construcción, donde, para los distintos materiales, equipos, componentes y sistemas, se definirán y programarán las verificaciones y pruebas de recepción previas a la autorización del montaje, así como las exigibles durante este último, de forma que se garantice el cumplimiento de los criterios y niveles de seguridad establecidos en el proyecto y en esta Instrucción, tanto para

los elementos constitutivos, como para el sistema completo. También, se incluirán las pruebas de funcionamiento del sistema completo en condiciones normales y en las degradadas que se hayan previsto, describiendo éstas.

- Marcas CE, certificados de homologación, distintivos de calidad (marcas, sellos...), certificados de ensayo, etc., de los distintos materiales, equipos y sistemas, emitidos por organismos de certificación o notificados, laboratorios independientes, etc. En cualquier caso, deberán aportarse los exigibles reglamentariamente.
  - Cuando se propongan variaciones respecto al proyecto en cualquier elemento de un sistema, éstas deberán justificarse en una memoria descriptiva, que incluirá el análisis detallado de sus repercusiones en la seguridad del túnel, junto con los correspondientes planos y documentos técnicos.
- La Dirección Facultativa de las obras comprobará que: la documentación técnica presentada es adecuada y suficiente; los materiales, componentes, equipos y sistemas cumplen con las Prescripciones Técnicas, criterios y niveles de seguridad del proyecto y, en cualquier caso, con la normativa aplicable; las modificaciones planteadas son adecuadas, etc. En caso de conformidad, autorizará el suministro o montaje correspondiente.
  - En caso contrario, el Constructor presentará, cuantas justificaciones, ampliaciones o modificaciones documentales sean necesarias para eliminar las objeciones de la Dirección Facultativa de las obras.
  - En ningún caso el Constructor podrá suministrar ni instalar elemento alguno, sin la autorización previa del Director Facultativo de las obras.
  - La autorización del montaje no implica la conformidad plena con la instalación, ni con ninguno de sus componentes, los cuales deberán cumplir todas las exigencias del proyecto y demostrar su adecuado funcionamiento y eficacia antes de su aceptación y recepción definitiva.
  - Una vez autorizado en montaje, se redactará el Acta de Replanteo de la instalación, que incluirá la ubicación de las acometidas.

### **5.2.2. Aspectos generales**

- El montaje de la instalación se realizará únicamente por personal cualificado, con la adecuada categoría laboral. Además, cuando así se establezca reglamentariamente, los instaladores deberán estar debidamente autorizados e inscritos en el correspondiente Registro de la administración competente, para el tipo de instalación de que se trate.
- El Constructor deberá redactar y tramitar los documentos necesarios para obtener, del órgano competente, los permisos y licencias necesarios para la puesta en servicio y legalización de la instalación.
- El Constructor recopilará durante la construcción toda la información necesaria para documentar con precisión la realidad de la obra construida. Para ello, antes de proceder a la recepción formal de la obra, deberá entregar a la Dirección Facultativa de las obras, para su posterior entrega al explotador, la siguiente documentación:
  - Criterios de proyecto y modos de funcionamiento y operación de los distintos equipos e instalaciones.
  - Planos de lo realmente construido (“as built”) y documentación gráfica complementaria.
  - Información básica para la redacción del Manual de Explotación indicado en el capítulo 6, y en particular para el Manual de Operación y el Plan de Mantenimiento: elementos objeto de atención preferente en su mantenimiento, repuestos recomendados para los distintos equipos e instalaciones, etc.
- Asimismo, al final de la obra, el Constructor deberá formar en el manejo de las instalaciones, al personal designado por el explotador.

### **5.2.3. Controles y verificaciones a realizar**

Durante la construcción y, en cualquier caso, antes de la recepción de cada instalación, el Constructor realizará los controles y verificaciones recogidos en el Plan de Control de Calidad aprobado, detectando y corrigiendo en plazo las posibles deficiencias y variaciones respecto al proyecto. La Dirección Facultativa de las obras supervisará la aplicación del Plan.

#### **5.2.3.1. Aspectos a comprobar**

Los controles y verificaciones a realizar sobre los distintos elementos de una instalación (materiales, equipos, componentes y sistemas) pueden referirse a:

**a) Geometría y aspecto externo:**

- Dimensiones de los distintos elementos de la instalación.
- Accesibilidad de los elementos a su lugar de instalación.
- Disponibilidad de espacio suficiente para permitir la inspección, mantenimiento, reparación y reemplazo de los distintos elementos de manera adecuada.
- Verificación del montaje de los elementos: posición, alineación, etc.; siendo especialmente importante en el caso de los ventiladores.
- Aspecto externo: existencia de golpes, corrosiones o fisuras; defectos en galvanizados o soldaduras; estado de las pinturas; apriete de la tornillería, etc.

**b) Características físicas y químicas:**

- Propiedades de los materiales.
- Composición química de los materiales.
- Reacción al fuego de los materiales y resistencia al fuego de los elementos estructurales.

**c) Características mecánicas:**

- Rigidez de materiales y de elementos estructurales.
- Resistencia y ductilidad, tanto de componentes, como de sistemas, especialmente bajo su exposición a altas temperaturas en caso de incendio.

**d) Características eléctricas:**

- Conexión de cables.
- Potencias (de motores, de lámparas, etc.).

- Voltajes e intensidades de corriente (en aparatos de protección, transformadores, etc.).
- Potenciales de puesta a tierra.
- Rendimientos y consumos eléctricos.
- Iluminancias.

**e) Características hidráulicas y aerodinámicas:**

- Caudales (del aire en el túnel o suministrado por los ventiladores, de las bombas, etc.).
- Inercia aerodinámica al desplazamiento del aire (tiempo empleado en la transición hasta el régimen deseado).
- Rendimientos de los ventiladores y bombas.
- Presiones (del aire en el túnel o a la salida de los ventiladores, del agua en la red de hidrantes, de la carga en extintores, timbrado de elementos a presión, etc.).
- Estanqueidad de conductos y tuberías.
- Rugosidad de los conductos de ventilación, en su caso.

**f) Solicitaciones mecánicas:**

- Cargas estáticas: pesos propios, cargas muertas, etc.
- Interacción dinámica entre los elementos de la instalación y las estructuras contiguas: análisis del contenido en frecuencias de las cargas, problemas de confort o fatiga de los materiales causados por vibraciones, etc.

**g) Características funcionales:**

- Comprobación del buen funcionamiento de cada equipo, tanto individualmente, como en relación a los demás elementos del sistema o

sistemas interrelacionados, verificando la adecuada respuesta del conjunto para cumplir su función.

- Límites de funcionamiento de cada equipo, comprobando que no se superan.
- Celeridad y fiabilidad en los flujos de información y órdenes entre los distintos equipos y sistemas:
  - Recogida de información (señales o datos) por parte de detectores, cámaras, etc.
  - Transmisión de la información anterior a los equipos de mando y protección (cuadros, centralitas, etc.), así como al Centro de Control Técnico.
  - Recepción y procesado de la información por parte del Centro de Control Técnico y definición, por parte de éste, de las pautas de actuación, según el escenario contemplado.
  - Envío de las órdenes, desde el Centro de Control Técnico, al elemento o instalación telemandada.
  - Tiempos de respuesta para la entrada en funcionamiento del elemento o instalación telemandada, así como de los elementos redundantes o de reserva, en caso de fallo en los inicialmente designados, comprobando que son adecuados.
- Funcionamiento adecuado de los telemandos.
- Satisfacción por el sistema, de las necesidades para las que haya sido diseñado.
- Rendimiento del sistema, evaluando la relación entre los valores reales medidos (caudales, velocidades, presiones, etc.), respecto a los de proyecto.

**h) Certificaciones de calidad o conformidad:**

- Existencia de los correspondientes marcas CE, certificados de homologación, distintivos de calidad (marcas, sellos...), certificados de ensayo, etc., de los distintos materiales, equipos y sistemas, emitidos por organismos de certificación o notificados, laboratorios independientes, etc., en particular, los exigidos reglamentariamente.

### **5.2.3.2. Secuencias de comprobación**

En primer lugar se comprobará que cada sistema, tanto a nivel global, como de sus elementos constitutivos, cubre las necesidades para las que ha sido diseñado, acreditándose, en su caso, mediante los correspondientes certificados (de sistema global y de sus componentes) aportados por entidad especializada.

Los controles y verificaciones se escalonarán en tres fases o niveles:

#### **a) Nivel 1:**

Lo constituyen las comprobaciones a realizar en fábrica, laboratorio o a pie de obra, en el momento de la recepción de los distintos elementos (materiales, componentes o equipos).

Se controlan características geométricas, físicas, químicas, mecánicas, eléctricas, etc.

#### **b) Nivel 2:**

En general, se realiza a pie de obra. Se comprueba la compatibilidad de los distintos elementos entre sí, y de éstos con la obra civil, es decir, se trabaja sobre “conjuntos” (p. ej.: ventiladores y conductos de aire), sobre los que se verifican las hipótesis del proyecto.

También se comprueba la correcta recepción, por parte del Centro de Control Técnico, de los flujos de información procedentes de detectores, cuadros, etc. y su adecuado tratamiento según el escenario contemplado.

#### **c) Nivel 3:**

Corresponde a los ensayos de tipo global en los que se comprueba la secuencia de funcionamiento y concatenación de los distintos aparatos, equipos y personal involucrados en un determinado escenario: recogida y transmisión de la información, recepción y procesado de ésta por parte del Centro de Control Técnico, formulación y envío de las órdenes emanadas por éste y nivel de respuesta de las instalaciones telemandadas.

Se comprobará la eficacia del proceso, en particular, los tiempos de respuesta y rendimientos realmente obtenidos, ya que ello puede obligar a modificar los protocolos de actuación previstos inicialmente en proyecto para las situaciones de servicio o incidente.

También, se comprobará el funcionamiento de los sistemas para las condiciones degradadas previstas en el proyecto, que impliquen una operatividad parcial del sistema.

A este nivel, se realizarán los ensayos con humos fríos o calientes destinados a calibrar la eficacia de los sistemas de protección y evacuación, comprobando la reversibilidad del sistema de ventilación.

La medida de los parámetros aerodinámicos de los ventiladores se realizará según la norma ISO 5801 y los ensayos de resistencia a la atmósfera recalentada se llevarán a cabo según la norma BS-7346.

Dada la íntima relación entre el Centro de Control Técnico y las distintas instalaciones que supervisa y controla, la comprobación de su funcionamiento, se podrá hacer desde la perspectiva de éste, definiendo todas las pruebas a realizar desde él, o bien, desde el punto de vista de cada instalación, incluyendo en cada una de ellas las pruebas que afecten al Centro de Control Técnico.

### **5.3 Aspectos a tener en cuenta durante la explotación**

Antes de la puesta en servicio de las instalaciones se comprobará su correcto funcionamiento, así como que se han realizado los controles y verificaciones indicados en el apartado 5.2.3.

Durante la explotación se verificarán y mantendrán los criterios y parámetros de seguridad adoptados en el proyecto y montaje de las instalaciones. En consecuencia, cualquier modificación que durante la explotación sea preciso realizar en cualquiera de las instalaciones, se analizará en detalle, garantizándose que en ningún caso se reducen los niveles de seguridad adoptados en el proyecto para el conjunto del túnel.

Asimismo, se garantizará la presencia permanente, en el Centro de Control Técnico, de personal capacitado para el manejo de las instalaciones.

#### **5.3.1. Actuaciones preliminares**

Previamente a la entrada en servicio del túnel, y según lo indicado en el capítulo 6, se redactará, aprobará e implantará su correspondiente Manual de Explotación, que incluirá un Manual de Operación y un Plan de Mantenimiento de las instalaciones.

El Plan de Mantenimiento, según el apartado 6.1.4.2, incluirá capítulos específicos para cada una de las instalaciones de seguridad, donde se recogerán los protocolos con las operaciones a realizar, así como su alcance y periodicidad. Todo ello se realizará de acuerdo con los reglamentos vigentes, los estándares del fabricante y la buena práctica de mantenimiento.

El mantenimiento de cada instalación se realizará únicamente por personal cualificado, con la adecuada categoría profesional. Además, cuando se establezca reglamentariamente, dicho personal deberá estar debidamente autorizado e inscrito en el correspondiente Registro de la administración competente, para el tipo de instalación de que se trate.

#### **5.3.2. Criterios generales de mantenimiento**

##### **5.3.2.1. Operaciones a realizar**

**Objeto:** Detectar posibles problemas en instalaciones y equipos, que pudieran ser causa de incidentes durante la explotación.

Todas las inspecciones, verificaciones y trabajos a realizar durante las operaciones de mantenimiento, serán periódicos y similares a los de recepción de materiales, equipos, componentes y sistemas, indicados en el apartado 5.2.3. Asimismo, se escalonarán en niveles (I a III) que recogerán, desde el análisis y mantenimiento de componentes, a los del sistema global.

Sin carácter exclusivo, las operaciones de mantenimiento serán:

a) **De geometría y aspecto externo:**

En general, se llevarán a cabo mediante inspecciones oculares periódicas, completadas con ensayos no destructivos y, en su caso, con la toma de probetas para su posterior estudio. Consistirán en:

- Comprobación de la accesibilidad a los equipos instalados (para inspección, sustitución, etc.) y de la no existencia de obstáculos para su correcto funcionamiento.
- Verificación de la integridad de la instalación y del estado de sus componentes, incluyendo precintos, placas de características, etc.
- Detección de eventuales defectos y deterioros externos en materiales, elementos estructurales, componentes, equipos y sistemas:
  - Existencia de golpes, corrosiones o fisuras.
  - Defectos en galvanizados o soldaduras.
  - Estado de las pinturas.
  - Falta de apriete de la tornillería.
  - Falta de estanqueidad en conductos, etc.
- Detección de eventuales variaciones dimensionales debidas a fenómenos de fluencia, abolladuras, pandeos, dislocaciones, roturas, etc.
- Comprobación de los niveles de agua, aceite, combustible, etc. en los distintos equipos, con reposición del fluido, en su caso.
- Verificación del nivel de suciedad de los distintos componentes del sistema, y limpieza, en su caso.

b) **Mecánicas:**

- Análisis de vibraciones en elementos estructurales, componentes y equipos, con objeto de detectar deterioros prematuros, a través de las variaciones en su comportamiento.
- Verificación de las uniones roscadas y soldadas.

- Engrase de los elementos mecánicos.

c) **Eléctricas:**

- Verificación del estado del cableado, conexiones, pilotos, fusibles, etc., y sustitución de los defectuosos.
- Medida de la potencia de los motores.
- Medición de voltajes e intensidades de corriente (en aparatos de protección, transformadores, etc.).
- Medida de los potenciales de puesta a tierra.
- Análisis de los rendimientos y consumos eléctricos, con el fin de detectar posibles deterioros.
- Reglaje de los relés.
- Comprobación del nivel de carga de las baterías.
- Control de la temperatura y de la adecuada ventilación de los transformadores, etc.

d) **Hidráulicas y aerodinámicas:**

- Medida de caudales: del aire en el túnel o suministrado por los ventiladores, de las bombas, etc.
- Comprobaciones de presión: del aire en el túnel o a la salida de los ventiladores, del agua en la red de hidrantes, de la carga en extintores, timbrado de los elementos a presión, etc.
- Inspección de comprobación de la estanqueidad de los conductos y tuberías.
- Verificación y limpieza, en su caso, de los filtros y las válvulas.
- Renovación del agua de los depósitos y verificación del funcionamiento de su automatismo.

e) **Funcionales:**

- Comprobación del buen funcionamiento de cada equipo, tanto individualmente, como en relación a los demás elementos del sistema o de otros sistemas interrelacionados (p. ej.: detección de incendios y ventilación), verificando la adecuada respuesta del conjunto para cumplir su función. La comprobación se hará con las distintas fuentes de alimentación.

- Verificación de los límites de funcionamiento de cada equipo, comprobando que no se superan.
- Verificación de la conformidad en los flujos de información y órdenes entre los distintos equipos y sistemas, en particular:
  - Recogida de información (señales o datos) por parte de detectores, cámaras, etc.
  - Transmisión de la información anterior a los equipos de protección y control (cuadros, centralitas, etc.), así como al Centro de Control Técnico.
  - Recepción y procesamiento de la información en el Centro de Control Técnico, definiendo, seguidamente, las pautas de actuación, según el escenario contemplado.
  - Envío de las órdenes, desde el Centro de Control Técnico, al elemento o instalación telemandada.
  - Respuesta de la instalación telemandada, mediante la entrada en funcionamiento de los elementos previstos, o bien, de los redundantes o de reserva, en caso de fallo de los primeros.
- Evolución de los rendimientos del sistema.
- Simulaciones bianuales con humos fríos para comprobar el funcionamiento del sistema al aplicar los protocolos previstos en caso de incendio.

**f) Otras comprobaciones:**

- Disponibilidad de las eventuales herramientas especiales necesarias para la inspección, mantenimiento, reparación y sustitución de cada equipo.

**5.3.2.2. Documentación y priorización de actuaciones correctoras**

Análogamente a lo indicado para la obra civil en el apartado 3.3.2.2., con los resultados de las inspecciones, verificaciones y operaciones rutinarias de mantenimiento realizadas, se redactarán informes que recojan para cada sistema:

- Elementos integrantes.
- Situación y localización.
- Estado de dichos elementos, con las anomalías detectadas en la inspección.
- Operaciones efectuadas.
- Necesidades y carencias de los elementos más representativos inspeccionados.
- Reparaciones y reposiciones necesarias.

Asimismo, se establecerá un plan de valoración de los resultados obtenidos tras la inspección y verificación de funcionamiento de las instalaciones y sistemas en todos los niveles. En él, se desarrollarán los criterios que permitan graduar la urgencia de cada una de las actuaciones necesarias para subsanar todas las irregularidades detectadas, estableciendo su priorización.

### **5.3.3. Verificación del mantenimiento**

Análogamente a lo indicado para la obra civil en el apartado 3.3.3., y con el fin de verificar el cumplimiento del Plan de Mantenimiento, se realizarán auditorias periódicas de inspección del estado de las instalaciones, incluyendo, como mínimo:

- Las rutas de evacuación y el funcionamiento de sus elementos (alumbrado, señalización, puertas, presencia de obstáculos, etc.).
- Los elementos e instalaciones de protección contra incendios (hidrantes, sistema de detección, extintores, etc.).

Dichas auditorias se incluirán en los Planes de Inspección anual de la red y se realizarán siguiendo determinados protocolos cuyo contenido se indica en el capítulo IX del Plan de Autoprotección.

Cualquier anomalía que durante la visita se observe en otros elementos o instalaciones del túnel, distintos a los inspeccionados, se notificará a los responsables del mantenimiento para su conocimiento.

### **5.3.4. Comprobaciones en caso de incidente**

Análogamente a lo indicado para la obra civil en el apartado 3.3.4, tras producirse un incidente, se realizará una inspección detallada de los posibles sistemas afectados y de sus componentes, con objeto de: cuantificar los daños sufridos, definir las reparaciones o sustituciones necesarias y valorar la urgencia de cada una de ellas. En particular, se deberá valorar si las consecuencias del incidente afectan significativamente o no a las condiciones de explotación del túnel, por si fuera necesario posponer su reentrada en servicio.

Todas las actuaciones anteriores serán convenientemente documentadas y almacenadas con el resto de la información referente a cada instalación.

## **6. GESTIÓN DE LA SEGURIDAD EN LA EXPLOTACIÓN**

### **6.1. Manual de Explotación**

#### **6.1.1. Definición**

Documento específico de cada túnel y de aplicación obligatoria durante su explotación, donde en función de sus características particulares y del nivel de seguridad a alcanzar, se definen: las reglas de explotación (operación y mantenimiento); las actuaciones a llevar a cabo, tanto en condiciones normales como de emergencia; y los medios humanos y materiales necesarios.

#### **6.1.2. Objeto**

Mantener un adecuado nivel de seguridad durante la explotación:

- Evitando, en lo posible, la aparición de situaciones de riesgo que puedan afectar a la seguridad de los usuarios.
- Favoreciendo el correcto funcionamiento de la obra civil e instalaciones de prevención y protección, mediante su adecuado mantenimiento.
- Haciendo frente a los riesgos que se actualicen durante la explotación, y minimizando sus consecuencias adversas.

#### **6.1.3. Ámbito de aplicación**

Todo túnel de nivel I o II deberá disponer de su correspondiente Manual de Explotación, cuya aplicación podrá hacerse extensiva, además, a otros túneles o elementos de la infraestructura.

Abarcará a todo el ámbito del túnel y su entorno, incluidos los Centros de Control Técnico y de Tráfico asociados.

El Director de Explotación es el responsable de la adecuada aplicación del manual.

#### **6.1.4. Contenido**

El Manual de Explotación contendrá los siguientes documentos:

- Condiciones de Explotación.
- Condiciones de uso y mantenimiento.
- Plan de Autoprotección corporativo.

Será redactado por el explotador de la infraestructura y aprobado por el titular de ésta, antes de su puesta en servicio. Para ello el explotador recopilará toda la información procedente del proyecto y la actualizará con las modificaciones y precisiones procedentes de la construcción.

El Manual de Explotación se actualizará, al menos cada cinco años, a través de la aplicación del Plan de Calidad y Mejora Continua (apartado 6.2), incorporando la experiencia de la explotación y los avances técnicos, organizativos y científicos oportunos. También se actualizará como consecuencia de cambios en las condiciones de explotación o de accidentes graves que así lo aconsejen.

##### **6.1.4.1. Condiciones de explotación**

Se recogerán las características, parámetros y reglas de la explotación del túnel, con los requisitos y limitaciones a cumplir por el tráfico ferroviario, consecuencia del estudio de riesgos y de las exigencias de seguridad para las personas y los bienes. En particular:

- Condiciones generales y particulares de las circulaciones (estado de los vehículos y sus cargas, comprobación de cartas de porte, etc.).
- Restricciones de velocidad, máximas y mínimas, para las distintas clases de trenes.
- Limitaciones (separación entre trenes, de velocidad, de tipo de carga, etc.) a aplicar en los cruces de trenes.

- Restricciones al tráfico de mercancías y tratamiento de las mercancías peligrosas (paso en horarios restringidos, escolta, etc.).
- Exigencias específicas para los trenes de mercancías: detectores de incendios o humos en locomotoras, etc.
- Exigencias específicas para los coches de viajeros: uso de materiales poco combustibles, con baja emisión de humos, etc.; disponibilidad de megafonía interior, extintores, etc.; ausencia de accionamiento directo del freno mediante los dispositivos de emergencia accionables por los viajeros, etc.
- Condiciones de admisión de los tráficos especiales (residuos nucleares o explosivos de clase I, gálibo especial, mayor peso por eje o lineal, etc.) en coordinación con los responsables de seguridad.
- Medidas de prevención y protección específicas durante las operaciones de mantenimiento que afecten a la vía o a zona de seguridad.
- Condiciones y limitaciones a aplicar al tráfico en las situaciones degradadas.
- Metodologías de comprobación para los distintos requisitos y exigencias.

#### **6.1.4.2. Condiciones de uso y mantenimiento**

Este apartado incluirá:

- A. Un **Manual de Operación** de las instalaciones, con los criterios y procedimientos a seguir para su correcto uso y funcionamiento.
- B. Un **Plan de Mantenimiento** preventivo y correctivo de la obra civil y de las instalaciones, con los criterios, actuaciones a llevar a cabo y medios humanos y materiales necesarios para su conservación en perfecto estado.

Estará dividido en apartados específicos donde, de acuerdo con lo indicado en los apartados 3.3 y 5.3, se recogerán las comprobaciones y operaciones a realizar, así como su alcance y periodicidad. Como mínimo incluirá:

##### B1. Obra civil

- Revisión y limpieza periódica de todos los espacios subterráneos, canalizaciones, sistemas de drenaje y de recogida de vertidos líquidos, vía, zonas seguras, locales técnicos, rutas de evacuación, etc., según lo indicado en el apartado 3.3.2.1.
- Plan de auscultación de la estructura, en su caso.

## B2. Instalaciones (ferroviarias y de seguridad)

- Revisión periódica de las instalaciones, según lo indicado en el apartado 5.3.2.1.
- Plan de reposición periódica y preventiva de los elementos que lo requieran.
- Protocolos de control del funcionamiento de los distintos sistemas (listas de verificación).

Cuando no se establezca indicación alguna, la periodicidad del mantenimiento será, como mínimo, semestral.

El Plan incluirá la relación y descripción de los medios necesarios para llevarlo cabo, tanto materiales, como humanos, así como el organigrama jerárquico, funciones y responsabilidades de estos últimos.

El mantenimiento de cada instalación se realizará únicamente por personal cualificado, con la adecuada categoría laboral. Para las instalaciones en las que se establezca reglamentariamente, dicho personal deberá estar debidamente autorizado e inscrito en el correspondiente Registro de la administración competente.

Todas las operaciones efectuadas quedarán debidamente documentadas, a fin de permitir la realización posterior de las auditorias de comprobación recogidas en el Plan de Calidad y Mejora Continua (PCMC) del apartado 6.2.

Cuando se constate una pérdida de rendimiento o evolución tecnológica importantes en alguno de los sistemas instalados en el túnel, se realizará un análisis detallado de la posible obsolescencia de los equipos involucrados.

El Centro de Control Técnico dispondrá de los Manuales de Operación y Planes de Mantenimiento, actualizados para su consulta, correspondientes a los sistemas de seguridad instalados en los túneles bajo su control.

El personal del Centro de Control Técnico tendrá un conocimiento adecuado sobre la funcionalidad y mantenimiento de la obra civil y de los equipos y sistemas de seguridad del túnel, por lo que, antes de incorporarse al mismo y, al menos una vez al año, recibirá un cursillo de formación.

#### **6.1.4.3. Plan de Autoprotección corporativo**

Será redactado por el explotador de la infraestructura, informado por una comisión de Protección Civil y aprobado por el órgano sustantivo competente (titular).

##### **Definición**

Es un documento donde se establecen las medidas a adoptar y las actuaciones a llevar a cabo por el explotador de la infraestructura para reducir y controlar los riesgos y para dar una respuesta adecuada en situación de emergencia, así como los medios humanos y materiales necesarios para ello.

##### **Objeto**

Proteger a las personas y a los bienes de los riesgos derivados de la explotación, mediante:

- La aplicación de medidas preventivas y de control de los riesgos que permitan anularlos, limitarlos o reducir la gravedad de sus efectos.
- La definición de las actuaciones necesarias para dar una respuesta rápida y eficaz en situación de emergencia, minimizando las consecuencias adversas, sobre las personas y los bienes, de cualquier incidente o accidente.

- La coordinación, en situación de emergencia, entre los servicios de intervención corporativos y públicos, mediante la integración del Plan de Autoprotección corporativo, en el exterior de Protección Civil que se active como consecuencia de la emergencia.

### **Ámbito de aplicación**

Se elaborará en los túneles de longitud superior a 1.000 m. En los de longitud inferior, es suficiente que incluya los siguientes apartados:

- Análisis de riesgos.
- Protocolos de actuación en situaciones de emergencia.
- Análisis de accidentes e incidentes.
- Información de Emergencia, definido en el anejo I del Plan de Autoprotección corporativo.
- Bases de datos y directorio telefónico.

Como parte integrante del Manual de Explotación, en general, será específico de cada túnel, aunque en algún caso podrá ser de aplicación extensiva a otros túneles o elementos de la infraestructura (estaciones, viaductos, etc.).

### **Contenido**

- **I. Identificación y descripción del túnel y su entorno**

Contendrá, al menos, la documentación escrita y gráfica (mapas y planos) siguiente:

1. Identificación del túnel: denominación; país, comunidad autónoma, provincia, municipio y paraje donde está situado; línea férrea a la que pertenece y titularidad de ésta; puntos kilométricos de sus bocas y estaciones más próximas.
2. Identificación del explotador de la infraestructura.

3. Características de la explotación: tipo de tráfico, con su intensidad y distribución.
4. Descripción del túnel y de sus dependencias anejas: incluyendo planos de planta, perfil longitudinal y secciones transversales del túnel, así como de las salidas de emergencia, locales técnicos, etc., especificando sus usos concretos, e indicando los espacios de riesgo consecuencia de los materiales, equipos o sustancias que contengan y, en particular, de su comportamiento frente al fuego.
5. Descripción del entorno: características y singularidades del entorno físico y humano; infraestructuras e instalaciones próximas de posible utilidad en situación de emergencia, tales como vías de comunicación, hospitales, parques de bomberos, espacios para ubicación del personal evacuado y posibles víctimas, etc.
6. Descripción de los accesos, áreas de estacionamiento para vehículos de emergencia, helipuertos, etc., indicando sus características físicas, de uso y de accesibilidad.
7. Planos de servicios y equipos técnicos, tales como: suministro eléctrico y de agua, hidrantes externos, etc.

➤ **II. Inventario, análisis y evaluación de riesgos**

Se analizarán los riesgos residuales del túnel construido, aplicando los criterios del capítulo 2. Deberá contener, al menos:

1. Identificación de los riesgos susceptibles de originar o agravar una situación de emergencia, como consecuencia de: el tráfico; el entorno; las características constructivas y las condiciones generales de diseño; las instalaciones, equipos o sistemas; los actos ilícitos (atentados, sabotajes o actos vandálicos) o una combinación de éstos.

Se incluirán los planos de ubicación de dichos elementos de riesgo.

2. Análisis y evaluación de los riesgos identificados.

3. Clasificación de los incidentes y accidentes atendiendo a su tipología y a la gravedad de sus potenciales consecuencias sobre las personas o los bienes.

➤ **III. Inventario y análisis de los medios y recursos de autoprotección corporativos**

Se definirá la organización y los medios propios del explotador de la infraestructura, para prevenir y controlar los riesgos identificados en el capítulo II del Plan y para hacer frente a las emergencias con las intervenciones de primer nivel. Deberá incluir:

1. Organigrama jerárquico y funcional de los medios humanos adscritos, indicando las funciones y responsabilidades de cada uno. La activación del Plan en caso de emergencia y la dirección de las actuaciones corresponderán al Director del Plan de Autoprotección corporativo, materializado en la figura del Director de Protección Civil corporativo.
2. Inventario y análisis de los medios materiales y recursos de autoprotección corporativos disponibles, incluyendo planos con la ubicación de:
  - a) Rutas de evacuación (aceras, salidas de emergencia, etc.), áreas de confinamiento, nichos de seguridad, zonas seguras, etc., indicando sus características físicas y funcionales.
  - b) Compartimentación de áreas o sectores de riesgo.
  - c) Señalización y alumbrado de emergencia (luminarias, grupos electrógenos, SAIs, acometidas, etc.).
  - d) Medios de protección y extinción de incendios (red de hidrantes, bombas, depósitos, sistemas fijos de extinción, sistemas de detección, extintores, etc.).
  - e) Instalaciones, sistemas y equipos de alarma y comunicaciones.

- f) Instalaciones generales (cuadros eléctricos, pozos y equipos de ventilación, etc.).
- g) Vehículos de extinción de incendios, material de excarcelación, trajes de protección personal, etc.

➤ **IV. Prevención y control de riesgos**

Deberá incluir:

1. **Procedimientos preventivos y de control de riesgos.** Como mínimo se incluirán los referentes a:

- a) Criterios y precauciones a adoptar, y actividades a realizar para evitar las causas de aparición de accidentes o sucesos graves.
- b) Tareas rutinarias de seguridad, vigilancia y control a realizar en el túnel:
  - Vigilancia y control del estado de servicio de las instalaciones a través de: la observación de las señales y alarmas recibidas en el centro de control, así como mediante la comprobación de su funcionamiento, tanto manual como automático.
  - Supervisión del tráfico, especialmente de mercancías peligrosas.
  - Identificación de incidentes y accidentes; validación y evaluación; procedimientos de actuación previstos en cada caso (activación del Plan de emergencia corporativo, etc.).
  - Atención de llamadas de notificación de incidentes o accidentes y su tratamiento.
  - Comunicación de anomalías o incidencias al responsable de la explotación.
- c) Apoyo al Plan de mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones y equipos de protección y seguridad del capítulo III del

Plan de Autoprotección corporativo: inspecciones visuales y notificación de averías.

d) Precauciones y permisos especiales de trabajo para la realización de operaciones que generen riesgos (mantenimiento, etc.).

2. **Condiciones mínimas de explotación:** Fijan el nivel operativo mínimo de las instalaciones y equipos, por debajo del cual se debe suspender la explotación del túnel por motivos de seguridad.

➤ **V. Tratamiento de las emergencias**

El contenido de este capítulo, junto a los medios materiales y humanos -con su organización, funciones y responsabilidades- del capítulo III, adscritos al tratamiento de las emergencias, se suele denominar Plan de emergencia corporativo.

Deberá incluir:

1. **Clasificación de los accidentes**, en las fases y situaciones de emergencia previstas en el Plan de emergencia exterior en el que se integre. En ausencia de especificación, se usará la siguiente:

**A) Fase de Pre-emergencia:**

- Situación 0: Conato de emergencia causado por un incidente leve que no obliga a cortar el tráfico. Requiere únicamente el uso de medios propios afectos a la explotación del túnel. La dirección de las actuaciones corresponde al Director de Explotación.

**B) Fase de Emergencia:**

- Situación 1: Accidentes que causan daños leves a las personas, a la obra civil o a las instalaciones, o que obligan a cortar temporalmente el tráfico. Requiere la activación del Plan de emergencia corporativo y el uso exclusivo de los medios y recursos pertenecientes al explotador de la infraestructura. La dirección de las actuaciones corresponde al Director de Protección Civil corporativo.

- Situación 2: Accidentes o sucesos graves o muy graves que obligan a cortar el tráfico por un tiempo ilimitado. Requiere la activación del correspondiente Plan de emergencia exterior y el uso de recursos externos al explotador de la infraestructura. La dirección de las actuaciones corresponde al Director de dicho Plan.

2. **Procedimientos de actuación en emergencias**: para cada tipo de incidente o accidente y de su correspondiente fase y situación de emergencia, se definirá la secuencia de acciones inmediatas de protección e intervención que permitan, por orden de prioridad:

- a) Poner a salvo a las personas implicadas en el accidente (aviso a los servicios de intervención en emergencia, rescate, prestación de primera ayuda, confinamiento y evacuación).
- b) Evitar nuevos accidentes, como consecuencia del inicial (comunicación del incidente al resto de las circulaciones, paralización o regulación del tráfico, control de las condiciones ambientales del túnel, etc.).
- c) Restablecer, cuanto antes, las condiciones de explotación del túnel (valoración de deficiencias, reparación, etc.).

En particular, deberán incluir:

- Mecanismos de detección de accidentes y tratamiento por el operador (confirmación, aviso a servicios de intervención en emergencia, etc.).
- Criterios y procedimientos de activación del plan y de declaración de fases y situaciones de alerta o alarma, con identificación del responsable de ello.
- Protocolos de comunicación para información, solicitud de ayuda externa, etc., entre el Centro de Control de Tráfico y las personas y organizaciones directa o indirectamente afectadas por la emergencia: personal de trenes, servicios de intervención en emergencia,

servicios de explotación, Centro de Coordinación y Mando de Protección Civil, etc.

- Mecanismos de aplicación de los medios humanos y materiales corporativos y de las medidas de protección necesarias para el rescate, prestación de primera ayuda, confinamiento y evacuación de personas. Se redactarán fichas con instrucciones de intervención para los principales incidentes y accidentes identificados.
- Protocolo de manejo de la instalación de ventilación en caso de incendio.
- Protocolo de recepción de las ayudas externas, en su caso, que facilite la intervención coordinada.

### **3. Integración del Plan de Autoprotección corporativo en correspondiente Plan de emergencia exterior**

A este efecto, y de acuerdo con la legislación vigente, el Plan de Autoprotección corporativo será informado por una comisión de Protección Civil antes de su aprobación.

Para poder integrarse deberá incorporar los protocolos necesarios y, en particular, los siguientes:

- a) Notificación de las emergencias a las autoridades competentes.
- b) Coordinación y transferencia de responsabilidades entre los directores de los Planes de Autoprotección corporativo y de emergencia exterior (territorial o especial) en el que se integre.
- c) Coordinación operativa y cooperación entre el explotador de la infraestructura y los servicios públicos de intervención en emergencia.

#### ➤ **VI. Implantación material efectiva del Plan**

Para que el Plan sea operativo y eficaz, deberá implantarse adecuadamente, de forma que sea conocido y asumido por toda la organización. Para ello deberá contener:

1. Programa de información y divulgación del Plan entre las personas afectadas directa o indirectamente por él (personal de explotación, servicios corporativos y públicos de intervención en emergencias, Centro de Coordinación y Mando de Protección Civil, etc.), mediante la difusión de la Información de Emergencia descrita en el Anejo I del Plan.
2. Programa de información a los usuarios, incidiendo en la comprensión de la señalización y en las consignas de prevención y de actuación en situaciones de emergencia.
3. Programas de formación y capacitación del personal corporativo con funciones de prevención y control de riesgos, así como de intervención en emergencias.
4. Programa de dotación y adecuación de medios materiales y recursos necesarios para la implantación. Deberán incluir: definición, provisión, gestión y mantenimiento de los mismos.

➤ **VII. Mantenimiento de la eficacia del Plan**

Contendrá:

1. Programa de información y formación continua mediante cursos de adiestramiento y reciclaje, destinados a todo el personal corporativo con participación directa o indirecta en el Plan.
2. Programa de realización y evaluación de ejercicios y simulacros de emergencias, para entrenamiento del personal de intervención en emergencias y comprobación de la eficacia y operatividad del Plan en dichas situaciones. Como mínimo, en los túneles de longitud superior a 5 km, previamente a la recepción de la obra y cada tres años, se realizarán:

- Ejercicios de activación parcial del Plan de Autoprotección corporativo: alertas, alarmas, comunicaciones, evacuaciones, confinamientos, operaciones de intervención, etc., con participación exclusiva del personal de explotación del túnel.
  - Simulacros con activación parcial del correspondiente Plan de emergencia exterior y participación, junto a los corporativos, de los servicios de intervención públicos, a fin de verificar la coordinación entre Planes y aumentar su eficacia.
3. Programa de análisis anual de siniestros en túneles propios y ajenos, con objeto de ampliar conocimientos a través de la experiencia obtenida. Se orientará a detectar deficiencias en la seguridad del túnel y a proponer modificaciones para mejorar la eficiencia del Plan.

Se definirán las personas que deben participar en el análisis, los documentos a emitir y sus destinatarios. En los casos de incendio o víctimas mortales, se elaborará un informe en un plazo máximo de tres meses, donde se incluirán medidas para evitar, en lo posible, su repetición. Análogamente se hará con los incidentes, cuando existan indicios claros de que en condiciones más desfavorables podrían haber derivado en accidente grave.

4. Programa de revisión y actualización de toda la documentación del Plan, al menos cada tres años, a fin de recoger cualquier tipo de modificación que se produzca.
5. Programa de Auditorias externas al Plan de Mantenimiento de la obra civil y de las instalaciones.

Su objeto es aumentar la fiabilidad de los medios de protección (obra civil e instalaciones), mediante la comprobación periódica de su estado de conservación, funcionamiento y uso correcto. Serán realizadas por inspectores dependientes del Director de Protección Civil corporativo, siguiendo protocolos establecidos. Como mínimo, serán los siguientes:

- Estado de las rutas de evacuación y áreas de confinamiento.

- Estado y funcionamiento de los sistemas, instalaciones y equipos de prevención y protección.
- Ejercicios y simulacros de emergencias.
- Regulación, en su caso, del transporte de mercancías peligrosas.

Cada protocolo de inspección contendrá: objeto y ámbito de aplicación; programa de la inspección; preparación y desarrollo de ésta; y tratamiento de los resultados. Como anexos se incluirán modelos de hojas de inspección y de comunicación de anomalías.

➤ **Anejo I: Información de emergencia**

Se trata de un documento resumen que incluirá:

1. Plano o esquema del túnel y sus dependencias anejas en tamaño UNE A-3 ó UNE A-2, con:
  - Ubicación de los medios de autoprotección conforme a la normativa UNE.
  - Los recorridos de evacuación y las áreas de confinamiento.
2. Instrucciones de actuación para cada tipo de emergencia.
3. Protocolos de petición de ayuda.
4. Directorio de comunicaciones (telefonía, radio, línea de datos, etc.).

➤ **Anejo II: Directorio de comunicaciones en emergencias**

Constará de tres partes, correspondientes a:

1. Las autoridades del Sistema Nacional de Protección Civil.
2. Los **Servicios Operativos** de emergencias exteriores a la explotación.
3. Los departamentos y servicios de la explotación y empresas auxiliares.

## **6.2. Plan de Calidad y Mejora Continua en la gestión de la seguridad en la explotación (PCMC)**

### **Objeto**

Analizar y evaluar la calidad de la gestión de la seguridad en la explotación y, en particular, lo referente a la aplicación del Manual de Explotación.

### **Contenido**

Se recomienda elaborar el PCMC de acuerdo con la Norma UNE-EN-ISO 9001:2000 y tomando como referencia el Modelo Europeo de Gestión de Calidad Total o modelo EFQM de excelencia. Incluirá:

- Organización y coordinación de personas y entidades adscritas al Plan.
- Control de la documentación y de los datos.
- Control de procesos. En particular, los de revisión de la documentación correspondiente a las actuaciones realizadas en cumplimiento de lo previsto en el Manual de Explotación. Se verificará el cumplimiento de todas las actuaciones previstas en sus distintos apartados, detectando las anomalías que se produzcan, estableciendo las no conformidades y registrando estos aspectos para su posterior análisis.
- Control de los equipos de inspección, medición y ensayo.
- Auditorias internas para verificación de la implantación, funcionamiento y adecuación del Plan.
- Capacitación y formación del personal.
- Tratamiento de las NO Conformidades.

La **mejora continua** determinará, en función de los procesos desarrollados, de los recursos utilizados y de los resultados obtenidos, los aspectos a corregir para potenciar o mejorar la calidad de la gestión. Para ello requerirá:

- La implicación de la Alta Dirección en la fiabilidad de las instalaciones.

- La amplia difusión de la información en materia de prevención y protección de riesgos catastróficos.
- Campañas de mentalización y concienciación.
- El análisis y rediseño de procesos, a partir de propuestas de eliminación o simplificación de procedimientos.
- La motivación y participación del personal.
- La fijación de indicadores para caracterizar cada situación y su evolución en el tiempo.

El planteamiento general seguirá el siguiente ciclo: Planificar, ejecutar, controlar y ajustar.